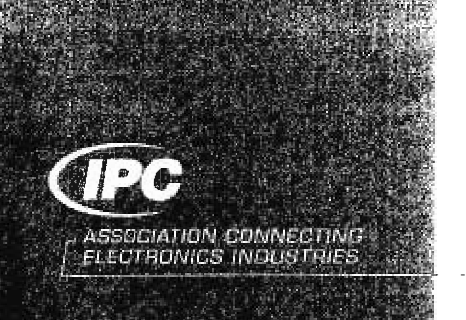
Примечание: Русский перевод стандарта запускается в производство только совместно с официальной версией на английском языке. Регулирущей версией является версия на английском языке. В случае разночтений необходимо руководствоваться версией на английском языке.

Отсутствующие по тексту русского перевода таблицы и рисунки представлены в версии стандарта на английском языке.



IPC-TR-583

An In-Depth Look At Ionic Cleanliness Testing

Originally published as EMPF-RR0013,
Tim Crawford, August 1993

Reprinted with permission of the Electronics Manufacturing Productivity Facility (EMPF), Operated by the American Competitiveness Institute (ACI)

Глубокий анализ испытаний на ионную чистоту

Исполнитель	Проверил	Нач.отд.	Гл.инженер
Романова	Степанова	Исупов	Тюкевин
8.12.08			

...ая записка отдела 2614

...олнением IPC-TR-583 на англ. языке (на 226 листах)

3000 Lakeside Drive, Suite 309 S, Bannockburn, IL 60015-1249
Tel. 847-615-7100 Fax 847-615-7105
www.ipc.org

Отчет организаторов

Испытания, проведенные в отделении оценки производительности электронной техники (далее EMPF), показали, что по мере усовершенствования технологий и сокращения площадей поверхностей печатных монтажных плат (ПМП), остатки на поверхностях становятся все сложнее измерять с прежней точностью. На маленьких площадях поверхностей переменные, такие как ограничения рабочей области зонда, объем растворителя и даже диоксид углерода из воздуха, оказывают влияние на измерение ионного загрязнения.

Большинство систем имеют так называемый «предел диапазона измерений» или зону нечувствительности. Зонд каротаж сопротивления, используемый в каждой системе, имеет максимальную измерительную способность. Например, если максимальная способность пробы составляет 100 мегаом/см, а удельное сопротивление растворителя в действительности 150 мегаом/см, дисплей продолжит отображать 100 мегаом/см. Любые ионные остатки, снижающие сопротивление растворителя со 150 до 100 мегаом/см, не будут измерены. Однако удельное сопротивление линейно, и количество остатков, нужное для снижения сопротивления со 150 до 140 мегаом/см, гораздо меньше количества остатков, нужного для снижения сопротивления с 50 до 40 мегаом/см. Спорным вопросом остается то, что количество ионных остатков, нужное для снижения сопротивления с предела диапазона измерений до видимого диапазона, в большинстве случаев незначимо. Решение этого вопроса зависит от площади поверхности, а также требования точности. Для обеспечения точности важно, чтобы оператор оборудования, выполняющий испытание на чистоту, не оставлял систему в режиме очистки/фильтрации в течение длительного времени. Если оператор ненамеренно деионизировал растворитель до уровня, превышающего нормальный, растворитель должен быть искусственно подвергнут загрязнению и затем повторно очищен до приемлемого уровня.

Диоксид углерода р астворяется в воде и образует угольную кислоту. Она слабо ионизируется в ионы H^+ и HCO_3, которые могут/будут затем воздействовать на ионные показания. Наличие этих ионных образований во время статической экстракции воздействует на общие ионные показатели. В большинстве случаев, воздействие невелико, что выражается в относительно малой погрешности результатов измерения. Однако если мы измеряем небольшой образец в большом объеме экстрагирующего раствора, эффективное количество микрограммов NaCl, представленное образованием CO_2 в растворе, будет разделено на меньшую площадь поверхности образца, что приведет к большей относительной погрешности показаний, выраженных в $\mu g/in^2$. Экстракция, выполняемая более длительное время, также покажет большие погрешности CO_2, так как больше CO_2 будут растворено при более длительном атмосферном воздействии. Испытания показали, что эта проблема не обнаруживается для всех статических систем; на первый взгляд не существует взаимосвязи между распылением/нераспылением или распылением, превосходящим в эффективности погружение/распылением, менее эффективным, чем погружение. Динамические системы непрерывно деионизируют растворитель, при этом, удаляя небольшие количества CO_2, перед тем, как последний аккумулируется в измеряемом количестве. Однако потребуются дальнейшие испытания для получения полной характеристики воздействия CO_2.

Температура растворителя в испытательных системах на ионную чистоту увеличится, но через некоторое время стабилизируется. Это относится ко всему испытательному оборудованию, даже к системам без нагревательного элемента. Из-за насосов, подающих растворитель, и трения в трубах, температура растворителя обычно увеличивается в ненагреваемой системе на 10-15 °F от первоначальной комнатной температуры. Только «Айком 5000» и «Омегаметр 600СМД» могут функционировать с нагревателями в положении «вкл.» или «выкл.». Обе системы показали более высокие результаты при нагреве растворителя. Кроме того, нагревательные системы при пересечении с объемом раствора показали, что переменная объема более значима.

В течение всего испытания обнаружилась разница или расхождение между «динамическими» и более популярными «статическими» семействами оборудования для испытаний на чистоту. Дополнительные испытания, не входящие в изначальный план, выявили ограничения, связанные со «статическим» процессом, препятствующие ионизирующей способности растворителя и, следовательно, измерять загрязнение.

Не удивительно, что наиболее значимая переменная, повлиявшая на окончательный результат при испытаниях «в растворе» и «пробного образца», была количеством остатков. При сравнении всех 5 микрограмм данных со всеми 55 микрограммами данных изменение было значимо. Динамические и статические системы были раздельно сгруппированы. Динамичные системы измерили более значительное изменение при переходе от 5 к 55 микрограммам. Несмотря на группировку, динамические процессы имели разброс данных более 8 микрограмм при измерении концентрации 55 микрограмм, а статические системы имели разброс примерно 15 микрограмм. Также можно отметить, что статические системы имеют показания аналогичные или более высокие, чем динамика при 5 микрограммах, но затем показания падают при 55 микрограммах.

Следующая важнейшая переменная – воздействие изопропанола. По мере увеличения спирта в растворителе с 70% до 80%, результаты ухудшились. Это также не удивительно, принимая во внимание то, что именно вода ионизирует загрязнение, и спирт в растворителе присутствует просто для растворения неионного (канифольного) материала для получения доступа к замкнутому ионному загрязнению. 70% раствор содержит больше воды, чем 80%, таким образом, сообщая раствору лучшие ионизирующие свойства. И снова была проведена определенная группировка статических и динамических систем. На динамические системы наиболее повлияло изменение содержания спирта.

Воздействие отклонения по высоте было не таким большим для статических систем, как ожидалось. Статические системы были равно эффективны при удалении загрязнений из-под обоих отклонений; однако, остатки сохранились под обеими отклонениями по высоте. Отклонение по высоте воздействует на динамические системы больше, чем на статические, что означает, что больший процент остатков был удален из-под 9 мил отклонения, чем из-под 3 мил отклонения. Статистически, единственная система, измерившая глубину канала как значительную, была «Ионограф 500М». Температура и распыление улучшили способность растворителя проникать в мелкие области (3 мил) и растворять поверхностные остатки, но они не были значимыми переменными при 9 мил.

При сравнении слабо и сильно ионизированного флюса во время испытания «в растворе» три из четырех динамических систем показали незначимую переменную тогда, как «Ионограф 500СМД» и все статические системы показали обратное. Хотя сильно ионизированные и слабо ионизированные флюсы отличны друг от друга, тенденции, возникшие при изменении других переменных, были схожими. Как только флюсы были нанесены на пробные образцы и высушены, появился широкий разброс данных у сильно ионизированных флюсов. Из-за этого широкого разброса и поскольку тенденции были схожими со слабо ионизированными флюсами при испытании «в растворе», Рабочая Группа по Ионной Проводимости (далее ICTG) решила не выполнять экстенсивного испытания образцов на сильно ионизированный флюс. Хотя было определено, что переменная является значимой в динамических системах, все системы имеют отрицательное воздействие при смене флюса от слабого к сильному тогда, как все статические системы измерили положительное воздействие.

Эффект объема был, вероятно, наиболее необычным наблюдением, сделанным в этом исследовании. Когда объем увеличивали во время испытания «в растворе» результаты имели тенденцию к улучшению, но, по какой-то причине, когда объем увеличивали при испытании плат, результаты ионного загрязнения ухудшались. Эта тенденция была замечена во всех системах, и на данном этапе объяснения этому наблюдению не существует.

Влияние объема было отмечено и объяснено в предыдущих исследованиях Джеком Браузом из компании «Альфа Металз». Изначально процедуры экстракции были разработаны для измерения ионных материалов, присутствующих в активных остатках канифольного флюса. Эти ионные материалы обычно являются сильно ионизированными солями, например, гидрохлориды амина. Было доказано, что подобные материалы дают линейную реакцию с увеличением концентрации.[1] Однако если мы попытаемся измерить остатки слабо ионизированных материалов, реакция будет сильно зависить от концентрации. Экстракция слабо ионизированных материалов в большой объем смеси воды/спирта покажет большую ионную реакцию, чем для аналогичного количества материалов, экстрагированных в малый объем (более высокая концентрация).[1,2] Если мы возьмем более низкие концентрации (больший объем), степень ионизации приближается к 100%, и результат измерения более истинно и пропорционально покажет количество экстрагированного ионного материала. Слабо ионизированные органические кислоты обычно присутствуют в водорастворимых (тип ОА) флюсах и типах флюсов малой твердости, не подлежащих очистке. Однако все же следует быть осторожным в применении методик экстракции ионов для подобных типов флюсов.

Было бы сложно ответить на старый вопрос «Если чисто, то насколько?» без приписывания аналитического количества определенному уровню надежности. Понимание воздействия переменных было первым шагом к определению конструкции существующего оборудования, удовлетворяющего этому требованию. Важно отметить, что такое оборудование никогда не применялось в аналитических целях. Вместо этого, оно было предназначено для управления процессами. Хотя существуют переменные, влияющие на окончательные ионные показания, эти системы обнаруживают сбои оборудования и погрешности обработки. На сегодняшний день используйте это

оборудование регулярно в рабочем порядке и, что более важно, в соответствии с замыслом разработчиков – в качестве инструмента управления процессами.

Введение

Многие отказы печатных монтажных плат (ПМП) можно отнести к ненадлежащим образом удаленным производственным остаткам. Естественно, за процессом очистки следует наблюдать для правильного удаления загрязнителей, которые могут привести к серьезным дефектам под воздействием времени, температуры и влажности.

Самым распространенным методом оценки уровня чистоты ПМП является испытание удельного сопротивления экстракта растворителя. Первоначальная процедура, разработанная в начале 1970-х годов, предполагала использование лабораторной гибкой бутылки, наполненной раствором 75% изопропанола и 25% деионизированной воды для удаления ионного загрязнения с ПМП в мензурку. Затем удельное сопротивление экстрагирующего раствора измерялось и ему присваивалось значение на основе стандарта хлорида натрия (NaCl). За последние 20 лет несколько изготовителей разработали и запустили в коммерческую продажу оборудование этого испытания. За это время были внесены радикальные изменения в системы, например, добавление нагревателей раствора, распылителей и микропроцессоров. Недавние исследования выявили расхождения не только у производителей, но и среди различных параметров таких, как температура и объем растворителя. В целях проведения этого испытания для управления процессом или принятия решений относительно того, какие альтернативы очистки наилучшие, стало необходимым изучать переменные, влияющие на окончательные результаты, и стандартизировать процедуры испытания.

Целью этого проекта является предоставление подробной информации об испытании на ионную чистоту для пользователей соответствующего оборудования. Насколько температура растворителя влияет на результаты окончательной чистоты? Насколько важно соотношение 75% изопропанола и 25% воды? Нужно ли распыление растворителя? Могут ли современные системы удалить загрязнение из-под компонента с отклонением по высоте .005”? Какой процесс более эффективный - статический или динамический? В этом проекте рассмотрены эти вопросы и определены переменные, оказывающие наибольшее влияние на результаты испытаний на ионную чистоту.

Исторические предпосылки

Остаточное загрязнение на ПМП обычно разделяется на две категории: ионное или неионное. Например, ионные остатки солей, активаторов флюса и человеческого пота, имеют свойство проводить электрический ток. При наличии влаги эти остатки вызывают короткие замыкания и коррозию паяных соединений. Неионные остатки такие, как канифоль, масло или жир, действуют как изоляторы и не проводят электричество. Этот тип остатков может задерживать электрический ток через торцевые соединители и другие коммуникационные порты. Флюсы, используемые в процессе производства, содержат как ионные, так и неионные материалы.

Понятно, что «чистая» ПМП имеет более высокую надежность. В 1972 году Военный воздушно-морской центр (ВВМЦ) в Индианаполисе (бывший Морской

авиационный комплекс, Индианаполис) провел исследование в поисках метода оценки степени «чистоты» ПМП после производственного процесса. Хотя при испытании измеряются только ионные остатки, можно провести хорошую оценку процесса очистки. Процедура испытания предполагала использование гибкой бутылки, наполненной раствором 75% изопропанола и 25% воды с минимальной удельной проводимостью 6 мегаом/см для смывания остатков с печатной платы. Экстрагирующий раствор заливался в мензурку, пока не было собрано 10 мм на квадратный дюйм площади поверхности ПМП, и затем удельное сопротивление снова было измерено. Минимальный предел соответствия/несоответствия был установлен на 2 мегаома/см, которые были в дальнейшем переведены в эквивалент хлорида натрия и рассчитаны в микрограммах на квадратный дюйм ($\mu g/in^2$) или на квадратный сантиметр ($\mu g/см^2$) площади поверхности платы. Однако в первоначальном испытании было много неучтенных параметров, и разные организации получили разные результаты.

Когда были определены метод испытаний и критерий соответствия/несоответствия, изготовители оборудования стали проектировать и строить системы для этого испытания. Благодаря эффективности или, возможно, несколько другому процессу измерения, было отмечено, что новое оборудование обеспечивает более высокие результаты, чем метод с мензуркой/воронкой. В 1987 году второе исследование было проведено ВВМЦ[4] для определения «факторов эквивалентности» для некоторого нового оборудования, которое было бы обеспечено различными военными стандартами, например, MIL-P-28809 и WS-6536. Согласно условиям исследования, теория «факторов эквивалентности» заключается в том, что ПМП, измерившая загрязнение равное 10,06 $\mu g/in^2$, используя испытание мензурки/воронки, измерила бы 14,00 $\mu g/in^2$ в статической системе и 20,00 $\mu g/in^2$ в динамической системе. С годами было сделано множество модификаций оборудования, например внедрение нагревателей растворителя, микропроцессоров и распылителей. По мере роста эффективности систем становилось все более очевидным, что факторы эквивалентности для оборудования 1978 года больше не соответствуют действительности. Кроме того, даже в исправленных стандартах не учитывалось п оступившее на рынок оборудование, и ошибочно не учитывалось одобренное испытательное оборудование для потенциальных пользователей.

В дальнейшем проблема усложнилась, когда компания «Моторола» доказала, что температура растворителя значительно влияет на окончательный результат испытания.[5] Предыдущее исследование, проведенное в корпорации «Дюпон»[6] (далее «Дюпон»), показало, что температура раствора может возрастать не более, чем на 14 °F в течение рабочего дня, увеличивая результаты не более, чем на 20%. Один испытатель ионной чистоты может дать два различных ответа для одной и той же ПМП в зависимости от температуры растворителя. Другие исследования с аналогичными результатами подтолкнули членов IPC сформировать рабочую группу по изучению ионной удельной проводимости для исследования температуры и других переменных, связанных с испытательным оборудованием.

Сравнение удельного сопротивления и удельной проводимости

Испытание удельного сопротивления экстракта растворителя использует свойство растворителя проводить электричество для определения количества ионного загрязнения. Способность проводить электричество может быть измерена либо в проводимости (сименс/см или мо/см), либо в ее противоположности – сопротивлении (ом/см). Чистый раствор воды/изопропанола является очень плохим проводником электричества, поэтому сопротивление высоко, а проводимость низка. Чистая вода проводит электричество несколько лучше и показывает сопротивление примерно 19 мегаом/см или 0,0526 микросименс/см при температуре 20°С. Это приписывается самоионизации воды, усиленной ее собственной высокой полярностью. Когда ионное загрязнение удаляется с ПМП и уходит в растворитель, сопротивление падает по мере роста проводимости. Измерение данной усиленной электрической проводимости воды (или смесей, содержащей воду) является основой всех испытаний на проводимость ионного экстракта, изучаемых в данной программе.

Если мы изучаем значения проводимости для сильно ионизированных материалов в водном растворе, мы обнаруживаем, что они линейно пропорциональны концентрациям соли в растворе, как показано на Рисунке 1. Однако схема удельного сопротивления относительно концентрации хлорида натрия приведет к гиперболической функции, как показано на Рисунке 2. Этот тип кривой отклика имеет два главных недостатка для ионного измерения. Во-первых, математический расчет ионной разницы становится гораздо более сложным с применением нелинейного вычисления удельного сопротивления по сравнению с удельной проводимостью. Во-вторых, чувствительность измерения сопротивления, как показано наклоном кривой, значительно снижается при увеличении концентрации. В особенности, это может стать проблемой при использовании статического метода экстракции, так как окончательные показания снимаются после экстракции и аккумуляции в растворе большинства ионных материалов. Показания при максимальной концентрации снимаются в точке, где чувствительность отклика (наклон), по меньшей мере, ограничивает способность обнаружения системы малого количества ионов, все еще экстрагируемых из образца.

В своей авторской работе начала 70-х годов Том Иган из «Белл Лабораториз» очень кратко сформулировал случай использования проводимости только для измерения экстрагируемых ионных загрязнителей.[7] В дальнейшем Джек Брауз расширил исследования Игана. Большинство химиков предпочитают применение функции проводимости сопротивлению. С другой стороны, многие инженеры используют значение сопротивления и удельного сопротивления в областях, связанных с измерением чистоты воды. Хотя некоторое оборудование для испытаний на чистоту, использованное в данном исследовании, измеряет проводимость, большинство систем измеряют сопротивление. По этой причине в данном документе сопротивление было выбрано для описания изменений электрического тока.

Рисунок 1 Кривая проводимости

Рисунок 2 Кривая сопротивления

Единицы измерения

EMPF и IPC признаем тот факт, что практически во всем мире пользуются метрической системой измерения. Таким образом, загрязнение выражается в микрограммах на квадратный сантиметр ($\mu g/см^2$) площади поверхности. Однако в США микрограммы на квадратный дюйм ($\mu g/in^2$) - более распространенная величина. Формула перевода $\mu g/in^2$ в $\mu g/см^2$:

$\mu g/in^2$ x 0,1550 = $\mu g/см^2$

Процедура испытания

Задача

Данный проект не предназначен для выбора «лучшей системы». В этом исследовании используется статистически спланированный эксперимент для изучения влияния различных переменных, связанных с оборудованием для испытаний на ионную чистоту и их воздействие (эффект) на ионные измерения (Смотрите Приложение А). Кроме того, различные концентрации разных типов флюса использовались для измерения точности каждой системы при обнаружении отдельных остатков. И последнее – пластины из нержавеющей стали использовались для определения эффективности каждой системы/переменной при удалении остатков из узких мест.

Одной из главных задач, поставленных рабочей группой по изучению ионной проводимости, была оценка воздействия переменных различных систем на удаление ионных остатков из-под известных отклонений по высоте. Мы были намерены определить, что, например, «Система А», без нагрева и распыления была на 88% эффективна при удалении остатков из-под 9 мил отклонения, только на 60% эффективна при 6 мил отклонении и на 30% эффективна при 3 мил. Эти данные затем можно сравнить с «Системой В» с нагревом и распылением, которая на 100% эффективна при 9мил, на 98% эффективна при 6 мил и на 85% эффективна при 3 мил отклонении.

В будущем задачей для данного проекта может быть проверка достоверности факторов эквивалентности, присвоенных некоторыми испытательным аппаратам в различных военных стандартах. Существует необходимость соотносить более новые и эффективные системы и результаты с другим оборудованием, а также с методом мензурки/воронки. Но насколько точны эти факторы эквивалентности? Изменились ли они за прошедшие годы? Каким образом факторы эквивалентности и всеобщий критерий соответствия/несоответствия соотносятся с долговременной надежностью? На эти вопросы можно ответить, определив, как переменные влияют на факторы эквивалентности и до какой степени.

Оборудование

Поставщики согласились предоставить EMPF оборудование для испытания ионной чистоты на время исследования. Все оборудование, использованное в исследовании, продается на коммерческой основе у компаний «Альфа Металз», «Кестер Солдер», «Лондон Хемикал», «Протоник», «Уэстек энд Зеро Системз». Оборудование делится на

четыре категории: Статическое/Без нагрева, Статическое/С нагревом, Динамическое/Без нагрева, Динамическое/С нагревом (смотрите Таблица 1).

Таблица 1 классификация оборудования					
КОМПАНИЯ	МОДЕЛЬ	ТИП	НАГРЕВ	КОНТРОЛЬ ОБЪЕМА	РАСПЫЛЕНИЕ
Альфа Металз	Ионограф 500СМД	Динамическое	Да	Нет	Да
	Ионограф 500СМД	Динамическое	Нет	Нет	Нет
Зеро Системз**	Зеро Ион	Динамическое	Нет	Нет	Да
Протоник*	Контаминометр СМ-5	Динамическое	Нет	Нет	Нет
Альфа Металз	Омегаметр 600СМД	Статическое	Да	Да	Да
	Омегаметр 600Р	Статическое	Нет	Да	Нет
Кестер	Ионекс 2000 Систем 100	Статическое	Нет	Да	Да
Протоник*	Контаминометр СМ-5	Статическое	Нет	Нет	Нет
Уэстек	Айком 5000	Статическое	Да	Да	Да
* Распространяется в США «Мультикор Солдер» ** Распространяется по всему миру «Лондон Хемикал» (Лонко)					

Термин «статический» является на самом деле неверным, так как под статическим обычно понимается что-то инертное или неподвижное. В нашем случае, термин «статический» относится к фиксированному объему, используемому при испытании. В режиме очистки/наполнения статическая система деионизирует растворитель из резервуара и наполняет испытательную ячейку с известным объемом (смотрите Рисунок 3).

Рисунок 3 Статический процесс

В режиме испытания статическая система непрерывно циркулирует растворитель, начиная с ячейки для испытаний, проходя через пробу удельного сопротивления и затем назад в ячейку для испытаний. Ионные остатки растворяются и распределяются по всему установленному объему так, что удельное сопротивление падает и затем выравнивается (смотрите Рисунок 4).

Рисунок 4 Статическая кривая

«Динамический» процесс извлекает растворитель из ячейки для испытаний (смотрите Рисунок 5), измеряет удельное сопротивление, деионизирует, затем перемещает растворитель обратно в ячейку. Поскольку загрязненный растворитель заменяется чистым, объем фактически бесконечен.

Рисунок 5 Динамическая кривая

Показание удельного сопротивления для динамического процесса начинается на высокой базовой линии, падает при удалении остатков, затем возвращается к базовой линии по мере деионизации растворителя (смотрите Рисунок 6). Площадь под кривой затем относят к общему ионному загрязнению.

Рисунок 6 Динамическая кривая

Функционирование оборудования основано на стандартных условиях эксплуатации изготовителей и некоторой предварительной работе в EMPF. Любые изменения рабочих процедур рекомендуются либо изготовителем, либо EMPF. Окончательное утверждение выносит рабочая группа по изучению ионного загрязнения вместе с изготовителем..

Испытательный аппарат

Испытательный аппарат для определения способности системы удалять ионное загрязнение из-под известного отклонения по высоте изображен на рисунках 7 и 8. Плата (рисунок 7) состоит из FR4, эпоксидного/стеклянного пластика с оловянными образцами 0,5 унций. Другие материалы платы были учтены на предварительных испытаниях, однако, FR4 был выбран как стандарт. Платины из нержавеющей стали (рисунок 8) были изготовлены для формирования отклонения по высоте 0,003, 0,006 или 0,009 (+/-0,0005) дюйма.

Рисунок 7 Испытательная плата ICTG

Рисунок 8 Крышка ICTG

Типы флюсов

ICTG решила исключить коммерческие флюсы из данного исследования, так как все флюсы разлагаются и ионизируются по-разному в зависимости от своего химического состава. Долгое время обсуждались источники ионизации. Предварительное испытание отдельных синтетических загрязнителей не увенчалось успехом и, было решено использовать синтетические «флюсы». Две группы флюсов представляют сильно ионизированные и слабо ионизированные флюсы для сравнения испытательного

оборудования. Третий загрязнитель был создан из NaCl в растворе воды/изопропанола. Три группы представляют собой следующее:

Сильно ионизированный «флюс»: 60% изопропилового спирта, технический сорт

5% диэтиламин гидрохлорид

5% яблочной кислоты

5% Тритон™ X100

15% полиэтилен гликоль 600

10% деионизированной воды

Слабо ионизированный «флюс»: 75% изопропилового спирта, технический сорт

20% белой канифоли на водной основе

5% адипиновой кислоты

Раствор NaCl: 75% изопропиловый спирт, технический сорт

6 грамм NaCl/литр

Микролитровый шприц для распыления флюса в пределах 8 квадратов 1” x 1” на плате. Объем был постоянным – 5 микролитров на 1 дюйм площади (всего 40 микролитров) – в течение всего испытания. Однако концентрация была разбавлена изопропанолом для получения трех различных концентраций загрязнения. Было получено три уровня – 5, 30 и 55 $\mu g/in^2$, что равняется 40, 240 и 440 микрограмм на плату, соответственно.

Переменные

Данный проект не предназначен для выбора «лучшей системы». План испытаний был статистически спланирован, чтобы лучше увидеть влияние каждой переменной на окончательные результаты чистоты. Подробное объяснение планирования испытания представлено в Приложении А данного документа. Переменные оборудования представлены в Таблице 2 вместе с их высокими, средними и низкими показателями.

Таблица 2 Переменные оборудования

Переменная	Низкий показатель	Центральный показатель	Высокий показатель	Единицы измерения
Остаток флюса	5	30	55	Микрограммы на кв. дюйм
Содержание спирта	70	75	80	% изопропанола

Температура раствора	Выкл.	Вкл.	Вкл.	Градусы по Фаренгейту
Объем раствора	33	66	100	% объема ячейки для испытаний
Отклонение по высоте	.003	.006	.009	Дюймы

Переменная флюса использовала три разных количества для каждого типа. ICTG решила оставить объем флюса распыленным на пробном образце, но разбавить основной раствор тремя различными способами для получения 55, 30 и 5 $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl, как указано в плане испытаний.

Содержание спирта было рассчитано путем измерения удельного веса и температуры проверочного раствора. Использовались три показателя - 70, 75 и 80% спирта - с балансировкой каждого раствора деионизированной водой.

Предварительное испытание показало, что температура раствора во всех системах, даже без нагрева, увеличивается из-за температуры подачи и трения в проводной системе. Если система имеет опцию нагрева растворителя, эта переменная была либо включена, либо выключена. В любом случае, растворитель достигал равновесной температуры до начала испытания.

Динамические системы не используют фиксированный объем. Таким образом, объем для них не был контролируемой переменной. Поскольку все статические системы имели резервуары разных размеров, определить три различных объема было невозможно. Вместо этого был установлен процент общего объема бака каждой системы. Это действительно для всех систем, за исключением «Айком 5000», которая использует объем 10, 20 или 40 мл на кв. дюйм площади поверхности платы. Минимальный объем, необходимый для эксплуатации «Айком 5000» без кавитации насоса, составил 160 мл. Таким образом, с площадью 8 кв. дюймов, система могла быть запущена при 20 или 40 мл на кВ. дюйм или 160 и 320 мл.

Отклонение по высоте контролировалось с использованием образцов из нержавеющей стали, описанных ранее в разделе «Испытательный аппарат» данного документа. Четыре образца из нержавеющей стали, все с аналогичными отклонениями были смонтированы на испытательную плату при помощи нержавеющих гаек и винтов. Для обеспечения надежности все гайки, крепящие пластины к испытательным платам, были закручены с усилием 5 дюймов/фунт.

Первоначальные наблюдения

Целью исследования являлось определение точности, воспроизводимости и эффективности каждой системы для удаления остатков из-под известных отклонений по высоте и степени влияния каждой системы на окончательные результаты ионной очистки.

Чтобы выполнить данный тип испытания и прийти к правильным выводам, важно, чтобы вся испытательная аппаратура имела аналогичное количества остатков, а также знать их количество. Это вызвало серьезные затруднения. Известный объем остатков мог быть отложен в субстрате при помощи микролитрового шприца, но какой объем «флюса» необходимо использовать, чтобы сделать его эквивалентным 440 микрограммам хлорида натрия?

Чтобы это выяснить, был выбран случайно «Омегаметр 600Р». Стандарт NaCl был подобран так, чтобы 40 микролитров равнялось 80 микрограммам NaCl (10 $\mu g/in^2$ на 8 кв. дюймов площади). Была выбрана статическая система, так как было запланировано очистить растворитель до приемлемого удельного сопротивления, ввести 40 микролитров раствора непосредственно в испытательный резервуар и измерить изменение удельного сопротивления. Это изменение сопротивления дало бы эквивалент 80 микрограммам NaCl. Растворитель в системе вернулся бы к начальному удельному сопротивлению, а «флюс» титрирован в испытательную ячейку к конечному удельному сопротивлению. Объем титрированного «флюса» равнялся бы 80 микрограммам NaCl.

Первые измерения были ниже ожидаемых и невоспроизводимы. Последующие исследования показали, что «Омегаметр 600Р» обладает, так называемым, «пределом диапазона измерений» (смотрите Рисунок 9).

Рисунок 9 Предел диапазона измерений

Максимальная измерительная способность зонда каротажа сопротивления составила только 60,35 мегаом/см, и хотя растворитель мог быть очищен до более высокого уровня удельной проводимости, система продолжали бы показывать 60,35 мегаом/см. Хотя начальное удельное сопротивление показывало 60,35 мегаом/см, в действительности, начальное удельное сопротивление растворителя было гораздо больше. Любые ионные остатки, снижающие сопротивление с высокого значения до 60,35 мегаом/см, не измерялись. Это проблема не уникальн для оборудования «Омегаметр 600Р», а наоборот типична для большинства испытанных систем. У одних это проблема обнаружилась в меньшей степени, чем у других. Например, «Зеро Ион» способно измерять сопротивление до 245 мегаом/см, но даже оно имеет свой предел. В некоторые системы проблема предела диапазона измерений решена с помощью компьютерного программного обеспечения, и циркуляция раствора прекращается, как только удельное сопротивление достигает верхнего предела зонда. Предел диапазона измерений не всегда очевиден на некоторых системах, так как не всегда отображается начальное удельное сопротивление. Как было упомянуто ранее в данном документе, удельное сопротивление нелинейно. Количество остатков, необходимое для снижения удельного сопротивления со 150 до 140 мегаом/см, гораздо меньше, чем количество остатков, необходимое для снижения удельного сопротивления с 50 до 40 мегаом/см. Спорным остается то, что количество ионных остатков, нужное для снижения сопротивления с предела диапазона измерений до видимого диапазона, в большинстве случаев незначительно. Решение этого вопроса зависит от площади поверхности, а также требования точности.

Данная проблема наиболее значима для систем, использующих удельное сопротивление, чем для систем, использующих удельную проводимость. Но предел

диапазона измерений влияет на показания всего оборудования, если оператор не был внимателен или не знал о данной проблеме. Важно, чтобы оператор оборудования для испытаний на чистоту не оставлял систему в режиме очистки/фильтрации на длительный период времени. Если оператор ненамеренно деионизировал растворитель до уровня, превышающего нормальный, растворитель должен быть искусственно подвергнут загрязнению и затем повторно очищен до приемлемого уровня.

Разобравшись с пределом диапазона измерений, были запущена другая серия испытаний на оборудовании «Омегаметр 600Р» с удельным сопротивлением менее 60,25 мегаом/см в качестве стартовой точки. Теперь показания стали несколько выше, чем ожидаемый эквивалент NaCl 10 $\mu g/in^2$. Первой гипотезой получения более высоких значений было то, что изопропанол/вода от стандарта увеличивала удельное сопротивление и, следовательно, загрязнение. Однако было отмечено, что результаты зависели от объема. Три разных объема использовали в ячейке для испытаний, и результаты были в среднем равны 12,5, 14,8, 16,2 μ/in^2 эквивалента NaCl. «Омегаметр 600СМД» использовался для проверки результатов «Омегаметра 600Р» и, было отмечено, что объем не влияет на них, однако, они увеличились почти вдвое от ожидаемых (около 20 $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl). Слепой опыт был запущен на «Омегаметре 600Р», и результат составил 0,0 $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl. Слепой опыт для «Омегаметра 600Р» составил 20 $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl и последующий запуск ничего не добавил в ячейку для испытаний, что привело в результату 20 $\mu g/in^2$ эк вивалента NaCl. Проверив распечатку «Омегаметра 600СМД» по трем отдельным запускам, графики показали, что результаты составили 0,0 $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl в течение первой минуты испытаний, затем подскочили с 8 до 12 $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl (смотрите Рисунок 10). Кроме того, графики показали, что результаты медленно, но верно увеличивались с 12 $\mu g/in^2$ в течение всего испытания и остановились на 20 $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl.

Рисунок 10 Поглощение диоксида углерода

Возникло три вопроса:

1. Почему результаты постепенно ползли вверх?
2. Почему результаты подскочили на первой минуте?
3. Почему рост остановился на 20 $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl?

Постепенный рост объясняется поглощением диоксида углерода (CO_2). Диоксид углерода растворяется в воде и образует угольную кислоту. Она может слабо ионизировать в ионы H^+ и HCO_3^-, которые могут/будут влиять на ионные показания. Наличие этих ионных образований во время статичной экстракции будет воздействовать на общие ионные показатели. В большинстве случаев, воздействие будет небольшим, что выразится в относительно малой погрешности результатов измерения. Однако если мы измеряем небольшой образец в большом объеме экстрагирующего раствора, эффективное количество микрограммов NaCl, представленное образованием CO_2 в растворе, будет разделено на меньшую площадь поверхности образца, что приведет к большей относительной погрешности показаний, выраженных в $\mu g/in^2$. Экстракция, выполняемая более длительное время, также покажет большие погрешности CO_2, так как больше CO_2 будет растворено при более длительном атмосферном воздействии.

Для проверки этой гипотезы в ячейку «Омегаметра 600СМД» был подан азот для образования инертной атмосферы на интерфейсе растворитель/воздух. Была запущена вторая серия испытаний, и результаты показали, что постепенный рост был устранен и CO_2 не вызывает роста. Однако остался скачок на первой минуте. В любом случае результаты подскочили с 3,0 до 7,4 μg/in^2 эквивалента NaCl, даже если загрязнение не попадало в ячейку для испытаний. После более тщательной проверки данных обнаружилось, что скачок носит непостоянный характер и, как оказалось, зависит от начального удельного сопротивления растворителя. Таким образом, ответ на второй вопрос таков: в отличие от «Омегаметра 600Р», который вычитает конечное удельное сопротивление из начального и рассчитывает загрязнение на основе этого изменения, «Омегаметр 600СМД» измеряет удельное сопротивление на первой минуте, вычитает это сопротивление из *предполагаемого* удельного сопротивления (60,35 мегаом/см), затем рассчитывает загрязнение на основе разницы. Чтобы проверить эту гипотезу, действительное удельное сопротивление растворителя было отрегулировано до предполагаемого начального удельного сопротивления под слоем азота. В заключении, показание 0,0 μg/in^2 эквивалента NaCl было получено без каких-либо добавлений в систему.

На третий вопрос был получен ответ, когда стало ясно, что окончание испытания зависит от диапазона, вводимого в программное обеспечение в начале испытания. Если результаты испытания превышали этот диапазон (в данном случае 20 μg/in^2 эквивалента NaCl), испытание заканчивалось. Поэтому не удивительно, что все наши стандарты NaCl и слепой опыт привели к показанию 20 μg/in^2 эквивалента NaCl. Диоксид углерода превысил показания шкалы, и испытание закончилось в этой точке.

Данное испытание было продублировано на всех остальных системах для определения воздействия CO_2. Испытания показали, что проблема не обнаруживалась на всех статических системах, а также не было взаимозависимости распыления/отсутствия распыления или распыления эффективнее погружения/погружения эффективнее распыления. Динамические системы непрерывно деионизировали растворитель, удаляя небольшие количества CO_2 прежде, чем он аккумулировался в измеряемое количество. Однако потребовались бы дальнейшие испытания для полной характеристики воздействия CO_2.

Но почему эти проблемы не были замечены ранее, если до этого испытания были точными? Как было упомянуто ранее, площадь поверхности испытательного аппарата была установлена на 8,0 кв. дюймов. Эта маленькая площадь увеличивает все недостатки испытательного оборудования. Например, если площадь поверхности ПМП составляет 100 кв. дюймов, и изменение удельного сопротивления соотносится со 100 микрограммами, конечный результат будет 1 μg/in^2. Допуск по точности +/- 50 микрограмм изменит конечный результат только на 0,5 μg/in^2. Если аналогичное изменение удельного сопротивления будет измерено на ПМП с площадью поверхности 1 кв. дюйм, показание результирующего загрязнения составит 100 μg/in^2. Поскольку отклонение в +/- 50 микрограмм значительно влияет на конечное показание, воздействие любой переменной на удельное сопротивление растворителя (температура CO_2, предел

диапазона измерения и т.д.) будет гораздо более ощутимо на ПМП с малыми площадями поверхности.

Другим наблюдением, сделанным во время первоначальных испытаний, было увеличение температуры растворителя относительно времени. Это относится ко всему испытательному оборудованию, даже к системам без нагревательных элементов. Из-за насосов, подающих растворитель и трения, температура растворителя обычно увеличивается в ненагреваемой системе на 10-15 °F от изначальной комнатной температуры. Это соответствует исследованию, проведенному в «Дюпон». Оборудование «Ионекс 200», не имеющее нагревательного элемента и относящегося к классу ненагревающих систем, подняло температуру растворителя выше 125 °F только за первый час. Эта проблема была решена компанией «Кестер» так, что теперь температура растворителя стабилизируется при 110°F. Поскольку температура была одной из изучаемых переменных, стало необходимо выяснить, при какой температуре каждая система стабильна, и выполнить все испытания в этой точке.

Как только было определено воздействие предела диапазона измерений, CO_2 и температуры, испытание было продолжено со стандартом хлорида натрия. Используя микролитровый шприц с точностью ± 0,1 микролитра, 40 микролитровый образец, содержащий 80 микрограмм хлорида натрия, был введен непосредственно в каждый аппарат для испытаний на чистоту. Если ввести площадь поверхности 8 кв. дюймов, конечный результат должен был быть 10 $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl.

Все же результаты были немного выше, чем ожидалось. Слепой опыт был запущен для определения влияния раствора изопропанола/воды на конечные результаты. Стандарт хлорида натрия, слепой опыт и скорректированные конечные результаты представлены в Таблице 3.

Было решено взять три различных количества обоих типов флюса. Хотя план испытаний предполагал 55, 30 и 5 $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl, не было известно, сколько потребуется флюса для получения положительных результатов. Например, если образец флюса был растворен так, что при 40 микролитров измерение составило 55 $\mu g/in^2$ в одной системе, вторая система измерила аналогичный образец как 51 $\mu g/in^2$, а третья система - 58 $\mu g/in^2$, неизвестно, какая система точна. Нельзя было применить химическое титрование, так как специально NaCl не измерялся. Поскольку измерение базировалось на изменении удельного сопротивления, невозможно было ввести такое количество флюса, которое бы указывало на изменение удельного сопротивления. Все системы показали хорошую взаимосвязь при использовании NaCl, поэтому был произвольно выбран один тип оборудования для содействия растворению двух флюсов.

Таблица 3 Стандарты хлорида натрия

	Омегаметр 600P	Омегаметр 600СМД	Ионекс 2000	Айком 5000	Зеро Ион	Ионограф 500М	Ионограф 500СМД
	11,2	11,6	13,7	11,15	11,70	12,84	11,91

	11,2	11,4	13.1	11,50	12,57	12,57	11,98
	11,3	11,6	13,4	11,15	12,03	12,50	12,11
	11,2	11,6	12,6	12,07	12,43	13,00	11,95
	11,4	11,6	13,59		12,61	12,51	11,91
Усредненный стандарт	11,27	11,56	13,28	11,47	12,26	12,68	11,97
	Слепой опыт изопропанола						
	0,3	0,2	1,4	1,00	0,82	0,73	0,41
	0,3	0,2	1,4	1,00	0,66	0,86	0,27
	0,3	0,3	1,4	1,00	0,80	0,80	0,29
	0,3	0,3	1,4	1,00	0,72	0,90	0,34
	0,4	0,4	1,4	1,00	0,68	0,92	0,23
Усредненный слепой опыт	0,32	0,28	1,40	1,00	0,74	0,84	0,31
Точное среднее значение	**10,95**	**11,28**	**11,88**	**10,47**	**11,52**	**11,84**	**11,66**

Примечание: «Контаминометр» не участвовал в испытаниях.

Система «Зеро Ион» была выбрана исходной для определения количества растворенного флюса в целях получения 55, 30 и 5 μg/in^2 эквивалента NaCl. Растворы затем были проверены на всех остальных системах для подтверждения результатов «Зеро Ион». На этом этапе было отмечено, что хотя динамические и статические семейства схожи при измерении NaCl (смотрите Таблицу 3), существовала большая разница между двумя группами при измерении остатков флюса. Хотя образец аналогичного типа и объема был введен во все ячейки для испытаний, статическое оборудование постоянно выдавало более низкие результаты, чем динамическое. Было представлено две гипотезы, но решено продолжить испытание и придерживаться динамической системы «Зеро Ион» для содействия растворению. **Это не означает, что динамические системы точны**, но позволяет продолжить испытание с высоким (~55 μg/in^2), средним (~30 μg/in^2) и низким (~5 μg/in^2) количеством флюса.

Следующая трудность возникла, когда было замечено, что, хотя флюс «в растворе» был хорошо воспроизводимым, результаты стали намного ниже и широко варьировались для сильно ионизированного флюса, как только был начат процесс формирования. Первоначальный процесс, выбранный для просушки флюса на испытательном аппарате, был ИК оплавлением с тепловым профилем, аналогичным профилю «Альтернативного хлор-фторо-углеводородного исследования IPC». Испытательные аппараты с этим тепловым профилем доказали свою неэффективность и результаты ниже ожидаемых. По 40 микролитров сильно ионизированного флюса было нанесено на каждую из десяти различных голых плат. Платы были паяны на аппарате ИК оплавления «Витроникс» при идентичных тепловых профилях, однако, результаты сильно варьировались. Дальнейшее модифицирование теплового профиля, включая добавление одного или двух этапов предварительной просушки, выявило сильную зависимость результатов от времени и температуры (смотрите Таблицу 4).

Таблица 4 Зависимость ионного загрязнения от температуры

Процесс	Среднее общих кол-во μграммов	Диапазон	Стандартное отклонение
Смоченный флюс, непосредственно в ячейке для испытаний	2801,1	35,6	.0127
Смоченный флюс на плате, без нагрева	2805,2	236,3	0.842
Флюс на плате, 1 час при 45°C	2436,8	150,4	.0617
Флюс на плате, 1 час при 45°C, 1 час при 100 °C	1607,0	426,5	.2654
Флюс на плате, только ИК оплавление	471,1	309,0	.6559
Флюс на плате, 1 час при 45°C, ИК оплавление	356,8	414,0	1.1603
Флюс на плате, 1 час при 45°C, 1 час при 100°C, ИК оплавление	279,8	107,8	.3853
Флюс на плате, 2 часа при 45°C, 2 часа при 100°C, ИК оплавление	0	0	0

В зависимости от способа нагрева флюса результаты варьировались от 0 до 2800 микрограмм на одном испытательном аппарате с одними значениями переменных.

Предметные стекла использовались для испытаний возможности влияния пористости протравленного многослойного материала, плакированного медью, FR4 на предмет широкого варьирование результатов. Произвольно были выбраны четыре системы, все переменные были установлены на центральные значения. Каждое предметное стекло, содержащее 40 микролитров флюса, было нагрето при 100 °С в течение 1 часа. Испытание было повторено четыре раза для каждой системы. В таблице 5 показано сравнение сильно ионизированного флюса в растворе после просушки и слабо ионизированного после просушки. Результаты - среднее значение в $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl для каждой системы.

Таблица 5 Сильно ионизированный флюс в растворе/на предметном стекле по сравнению со слабо ионизированным флюсом в растворе/на предметном стекле

	Ионограф 500СМД	Омегаметр 600Р	Айком 5000	Омегаметр 600СМД
Сильный флюс, в растворе	40,79	49,70	44,10	37,53
Сильный флюс, на предметном стекле	13,31	4,17	12,18	0,2
Слабый флюс, в растворе	59,22	29,93	12,32	28,70
Слабый флюс, на предметном стекле	65,10	27,47	11,74	28,20

Из данных видно, что ионные результаты для сильно ионизированного флюса значительно изменились после просушки тогда, как слабо ионизированный флюс остался достаточно постоянным.

Испытание подтвердило, что температура имеет значительное влияние на сильно ионизированный флюс. Кроме того, стандартное отклонение было значительно больше у слабо ионизированного флюса. Также испытание показало, что температура несильно влияет на результаты слабой ионизации по сравнению с результатами испытаний в растворе. Дополнительное испытание было проведено для определения влияния прочих оснований платы на данные слабо ионизированного флюса. Испытание проводилось с использованием 1) исходного многослойного материала FR4, 2) FR4 с припойным трафаретом, 3) алюмооксидной керамики и 4) стекла.

В таблице 6 показано, что платы с припойным трафаретом вырабатывают более сильное ионное загрязнение, чем другие основания. Хотя трафарет сглаживает топографию поверхности, сам он выщелачивает ионное загрязнение. Другие основы

значительно не отличались. Испытание этих материалов подтвердило, что отклонения вызывает тепловой профиль, а не сами материалы.

Таблица 6 Сравнение сильно ионизированного флюса, основания платы, испытания в растворе

Основание	Ионограф 500СМД	Омегаметр 600Р	Айком 5000	Омегаметр 600СМД
В растворе	59,22	29,93	12,32	28,70
Исходный материал FR4	70,16	22,37	12,64	24,32
Материал FR4 с припойным трафаретом	101,40	30,97	18,98	44,57
Алюмооксидная керамика	66,54	18,57	11,73	26,50
Стекло	65,10	27,47	11,74	28,20

После консультаций с промышленными экспертами по флюсу, мы пришли к выводу, что элементы сильно ионизированного флюса улетучиваются, окисляются и полимеризуются в разной степени в зависимости от количества переменных. Хотя было нанесено 40 микролитров на каждую плату (5 микролитров на кв. метр), каждое отложение имеет свою геометрическую форму (смотрите Рисунок 11).

Рисунок 11 Геометрия флюса

5 микролитровое пятно, которое распространятся тонким слоем, как показано в примере №1 рисунка 11, полностью улетучится и при наличии достаточного времени и/или температуры, полимеризуется и станет нерастворимым в спирте/воде. С другой стороны, пятно, которое не распространяется, как показано в примере №2, может полимеризовать "оболочку" на поверхности флюса и задерживать внутри смоченный флюс. Когда эта "оболочка" растворяется, остальной флюс распадается и ионизирует гораздо быстрее.

Помимо физической геометрии образца меняется химический состав флюса при воздействии высоких температур из-за испарения слабых кислот. Эти слабые кислоты обычно увеличивают показания ионного загрязнения, когда флюс мокрый, но, по мере их испарения, результаты эквивалента NaCl снижаются. Степень, в которой улетучивание влияет на конечный результат, зависит от толщины и скорости образования "оболочки". Эти гипотезы для широких вариаций и результатов ниже ожидаемых были выдвинуты как возможные объяснения и далее не были исследованы.

Подготовка пробного образца

Процесс наиболее постоянный при проверке способности удаления оборудования заключался в нагреве пробных образцов при 100 °C (+/- 5) в течение 1 часа. Было обнаружено, что оптимальным является минимальное время охлаждения в течение 10 минут и максимальное – 1 час. Это значит, что одновременно может быть обработано максимум 4 платы. Следует быть чрезвычайно осторожным, чтобы не касаться стойки платы для обеспечения чистоты. При работе с каждой частью использовались чистые перчатки. Техники провели огромную работу для обеспечения равномерности обработки купонов.

Презентация данных

В первом разделе результатов будут представлены общие наблюдения и тенденции испытаний «в растворе», которые включают таблицу эффектов и графический анализ для всех систем одновременно. Данные для каждой отдельной системы представлены в следующем порядке:

1. Необработанные данные
2. Таблица эффектов
3. Графический анализ
4. Статистический анализ

Крупноформатная таблица с необработанными данными перечисляет рандомизированный цикл, в котором каждая переменная присутствовала в плане испытаний. Также в ней представлен фактический результат измерения при каждой настройке. Затем эти данные были проанализированы и собраны в таблицу эффектов. В таблице представлены все системы и определены основные эффекты и взаимодействие каждой учтенной переменной. Чтобы лучше объяснить эффекты, даны несколько графиков для наглядного изображения эффектов и взаимосвязей. В заключении статистический анализ подробно описывает перечисленные данные в таблице эффектов, включая стандартное отклонение, коэффициент t и значение «p», используемое для определения коэффициента случайности. Низкое значение «p» обозначает высокий уровень уверенности и низкую вероятность того, что результат был получен случайно. Также в статистическом анализе содержится дисперсионный анализ (ANOVA).

После представления данных «в растворе» в следующем разделе рассмотрены общие наблюдения и тенденции испытаний пробного образца. Отдельные данные систем затем представлены в порядке, указанном выше.

Статистический расчет

Перед представлением данных испытаний читатель должен иметь понятие о статистически спланированном эксперименте. В Приложении A содержится подробное объяснение экспериментального расчета и рассматривается статистические инструменты для отображения и трактовки данных. Вкратце, главный эффект – это разница в выводе данных, когда фактор меняется с низкого до высокого уровня. Когда план уравновешивается, получается среднее значение всех прогонов на низком уровне,

вычтенное из среднего значения всех прогонов на высоком уровне влияния фактора. Например, на графике главного эффекта «ОСТАТКА» усреднены все данные при 5 микрограммах, независимо от содержания спирта, объема растворителя, температуры, типа флюса, глубины канала, и вычтено это среднее из среднего значения всех данных, измеренных при 55 микрограммах. Данные главного эффекта для средних значений «ИЗОПРОПАНОЛА» усредняют все данные при 70% спирта, независимо от количества остатков, объема растворителя, температуры, типа флюса, глубины канала и вычитают это среднее из среднего все данных, измеренных при 80% спирта. В этом гипотетическом примере, приведенном на Рисунке 12, основной эффект для «ОСТАТКА» и «ИЗОПРОПАНОЛА» составит:

ОСТАТОК = (13,8 + 16,6)/2 – (6,8 + 9,4)/2 = 15,2 – 8,1 = 7,1

Изопропанол = (6,8 + 13,8)/2 – (9,4 + 16,6)/2 = 10,3 – 13,0 = -2,7

Отрицательный эффект у изопропанола означает что, отклик снижается, когда процент изопропанола меняется с низкого уровня (70%) до высокого уровня (80%). Главные эффекты также представлены графически путем построения среднего отклика на каждом уровне (смотрите Рисунок 13).

Рисунок 12 Простой факторный пример

Рисунок 13 Построение главных эффектов

Отклик в центральной точке построен на том же графике для визуальной проверки кривизны (нелинейности). В этом случае, каждый фактор имеет постоянный эффект, независимо от уровня каждого фактора. Эффект «ОСТАТКА» составляет 7,0, когда «ИЗОПРОПАНОЛ» находится на высоком уровне (13,8 – 6,8) и 7,2, когда «ИЗОПРОПАНОЛ» находится на низком уровне (16,6 – 9,4).

Подобным образом эффект изопропанола составляет -2,8, когда ОСТАТОК находится на высоком уровне и -2,6 – когда на низком. Эффекты этих факторов независимы и взаимодействие отсутствует.

Когда эффект фактора зависит от уровня одного или многих факторов, взаимодействие существует. В этом случае, эффекты этих факторов не могут трактоваться отдельно. Рассмотрите гипотетический пример на Рисунке 14.

Рисунок 14 Пример взаимодействия

Эффект ТЕПЛА – 10,6, когда ОБЪЕМ находится на высоком уровне, но составляет лишь 2,6 – когда ОБЪЕМ на низком уровне. Аналогичным образом, эффект ОБЪЕМА – 3,4, когда ТЕПЛО на высоком уровне, и он расположен в противоположном направлении, когда ТЕПЛО на низком уровне (-4,6). Это называется парное взаимодействие и обычно обозначается звездочкой (*) или ТЕПЛО*ОБЪЕМ.

Эффект взаимодействия вычисляется путем вычитания эффекта ТЕПЛА при низком уровне ОБЪЕМА из эффекта ТЕПЛА при высоком уровне ОБЪЕМА и деления пополам, что составляет (10,6 – 2,6)/2 = 4,0. Обратите внимание, что аналогичное значение

получается при использовании эффекта ОБЪЕМА при двух уровнях ТЕПЛА (3,4 - {-4,6})/2 = 4,0). Также обратите внимание, что эффект взаимодействия ОСТАТОК*ИЗОПРОПАНОЛ в другом примере составляет только -0,1.

Рассчитанное значение для эффекта взаимодействия используется для определения его значимости, но он имеет небольшое интуитивное значение. Лучший способ понять эффекты – обратиться к графику взаимодействия (смотрите Рисунок 15), который просто изображает эффект одного фактора на каждом уровне другого. Разница в наклонах характеризует взаимодействие. Параллельные или близкие к параллельным линии указывают на отсутствие взаимодействия.

Рисунок 15 График взаимодействия

Существуют несколько статистических критериев, определяющих значимость эффекта. Каждый из этих критериев основан на вероятности наблюдения эффекта (во время эксперимента) такой величины или больше, если истинное значение эффекта было нулем. Другими словами, какова случайная вероятность наблюдения эффекта такой величины, полностью благодаря погрешности эксперимента? Если такая вероятность низка, тогда значение «p» должно быть ниже 0,05 (5%). В этом случае, можно сказать, что существует 95% уверенности, что эффект носит значимый характер.

Результаты испытаний «в растворе»

Общие тенденции и наблюдения при испытаниях «в растворе»

В динамическом режиме «Контаминометр СМ-5» демонстрировал поведение, отличное от других динамических систем, и не ставшее предметом обсуждений или выводов данного отчета. После анализа данных и передачи их в компанию «Протоник» стало ясно, что для данного исследования EMPF была выслана модель, не удовлетворяющая техническим условиям. Поставленная модель было спроектирована для больших (больше 45 in^2) площадей поверхности. Она не была достаточно чувствительна для малых площадей поверхности, требуемых для программы испытаний. «Протоник» предложила использовать более концентрированный флюс с большей площадью поверхности, которая равнялась тем же 55, 30 и 5 $\mu g/in^2$. Однако ICTG решила, что программа испытаний не подлежит коррекции для одной системы, не подвергая риску статистический расчет испытаний. Из-за нехватки времени изготовитель не имел возможности предоставить другую модель.

Самый простой способ определения значимости переменной – изучение наклона линий на графике. Чем круче наклон, тем значимее переменная. График на странице 34 показывает наиболее значимую переменную, которая, что неудивительно, является эффектом остатков. Когда все 5мкг данных сравниваются с 55 мкг данными, изменение значимо. Как было сказано ранее, эти остатки не обязательно составляли 5 и 55 мкг. Не думайте, что система «Зеро Ион» корректна, а все другие до определенной степени некорректны. Система «Зеро Ион» была произвольно выбрана как критерий уровня для содействия растворению стандартов флюса. В действительности, система могла показывать завышенные значения 3 и 45 мкг или 2 и 28 мкг. Что можно получить из этого графика, за исключением «Контаминомтера» (динамический режим), это то, что динамические и статические системы были сгруппированы отдельно, и динамические системы измерили более значимое изменение при переходе от 5 до 55 мкг. Будучи сгруппированными, динамические процессы имеют разброс данных примерно 15 мкг. Также можно отметить, что статические системы показывают аналогичные значения или выше, чем динамические при 5 мкг, но ниже при 55 мкг.

Следующим по значимости переменной был эффект изопропанола. Когда содержание спирта в растворе росло с 70% до 80%, результаты падали. Это также неудивительно, зная, что именно вода ионизирует загрязнение; спирт в изопропаноле служит просто для растворения неионного (канифольного) материала для получения доступа к замкнутому ионному загрязнению. 70% раствор содержит больше воды, чем 80%, что придает этому раствору большую ионизирующую способность. Существует определенная группировка, связанная со статическими/динамическими системами, и динамика наиболее подвержена изменению содержания спирта.

Эффект флюса не был статистически значимым для трех из четырех динамических систем, но он был значимым для «Ионографа 500СМД» и всех статических систем. Кроме того, интересно отметить, что динамические системы имели отрицательный эффект, когда флюс переходил из слабого в сильный тогда, как все статические системы измерили положительный эффект.

Когда мы изучаем эффект взаимодействия между переменной типа флюса и переменной изопропанола, можно отметить, что содержание спирта влияло на слабый флюс больше, чем на сильный для всех систем. Фактически измерения сильного флюса в статических системах были до некоторой степени аналогичны измерениям в динамических системах. Также можно отметить, что слабый флюс имел тенденцию к более низким измерениям, чем сильный флюс при 70% и 80% изопропанола в статических системах. Однако в динамических системах сильно ионизированный флюс имел более высокие измерения, чем слабо ионизированный при 80% изопропанола, но ниже, чем слабо ионизированный флюс при 70% изопропанола.

Последняя переменная, изученная при испытании «в растворе» была объемом растворителя в статических системах. Если система могла нагревать растворитель, это испытание проводилось со включенным нагревом. Как было сказано ранее «Айком 5000» не использует объем бака. Вместо этого оборудование нагнетает объем (10, 20 или 40 мл) на кв. дюйм площади поверхности в ячейку для испытаний. Поскольку наша площадь поверхности составляла только 8 кв. дюймов, минимальная установка (33%) была 80 мл. Этот объем был меньше минимально требуемого для циркуляции растворителя. По этой причине «Айком 5000» был запущен при 360 мл (высоко или 100%), 160 мл (средне или 66%) и 160 мл (низко или 33%). Большинство результатов испытания показали, что объем растворителя в ячейке увеличился. В результате испытания переменная объема была более значима в нагреваемых системах, чем в ненагреваемых. Единственным исключением в этой тенденции стало оборудование «Ионекс 2000». Эта система могла компенсировать изменение объема.

На Рисунке 16 представлены ионные показания каждый системы, когда стандартный раствор хлорида натрия был введен в испытательную камеру каждой системы. Стандартный раствор состоял из 240 мкг хлорида натрия. Площадь поверхности для испытания составляла 8 кв. дюймов. Ионные показания должны быть 30 $\mu g/in^2$ эквивалента NaCl.

Рисунок 16 Измерения NaCl «в растворе»

Три различных показания были получены для каждой системы с использованием стандартного раствора и оборудования, работающего при значениях центральных точек (75% изопропанола, 66% объема). График на рисунке 16 показывает каждое из трех измерений (горизонтальная линия), сделанных для каждой единицы оборудования и разбросанных между высокими и низкими (вертикальная линия). Как видно, показания варьируются от 16,8 до 38,4 $\mu g/in^2$. Кроме того, обратите внимание на относительный разброс трех измерительных точек, которые варьировались от системы к системе.

Возникают вопросы относительно точности текущих методов и оборудования измерения ионной удельной проводимости/ сопротивления. Это данные - для стандартного раствора хлорида натрия. Можно ожидать получение подобных данных для сборочного узла с остатками флюса, где разница переменных оборудования таких, как рабочая температура и конструкция (распыление, нагрев и т.д.) будут сильным влиянием. Однако эти результаты - для раствора «калибровки» систем.

Проблемы точности обычно не учитываются при калибровке систем во время нормальной эксплуатации. Тогда почему мы наблюдаем такое поведение в данном исследовании? Количество хлорида натрия, использованного для оценки, было гораздо меньше, чем то, что используется в промышленности при калибровке. Типичная калибровка составляет 5 мл в 750 μg/мл растворе. Это приводит к 3,750 мкг общего количества хлорида натрия, добавляемого в испытательную камеру. По сравнению с общим количеством хлорида натрия 240 мкг, использованного для оценки, концентрация при калибровке значительно выше и, по словам изготовителей оборудования, расположена в лучшей области кривой удельной проводимости/сопротивления оборудования. Малое количество хлорида натрия выделяет собственную погрешность метода испытаний и оборудования.

Смотрите оригинал, стр. 33

Таблица эффектов

Испытание «в растворе»

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите график в оригинале, стр. 34

Все системы: Эффект остатка в растворе (сильный и слабый флюс)

Подписи:

A = Зеро Ион

B = Ионограф 500М

C = Ионограф 500СМД

D = Контаминометр СМ-5

E = Омегаметр 600Р

F = Омегаметр 600СМД

G = Ионекс 2000

H = Айком 5000

I = Контаминометр СМ-5

Смотрите график в оригинале, стр. 35

Все системы: эффекта изопропанола в растворе (сильный и слабый флюс)

A = Зеро Ион

B = Ионограф 500M

C = Ионограф 500СМД

D = Контаминометр CM-5

E = Омегаметр 600P

F = Омегаметр 600СМД

G = Ионекс 2000

H = Айком 5000

I = Контаминометр CM-5

Смотрите график в оригинале, стр. 36

Все системы: Эффект флюса в растворе (сильный и слабый флюс)

Подписи:

A = Зеро Ион

B = Ионограф 500M

C = Ионограф 500СМД

D = Контаминометр CM-5

E = Омегаметр 600P

F = Омегаметр 600СМД

G = Ионекс 2000

H = Айком 5000

I = Контаминометр CM-5

Смотрите график в оригинале, стр. 37

Статические системы: Взаимодействие флюса/изопропанола в растворе (сильный и слабый флюс)

Подписи:

A = Зеро Ион

B = Ионограф 500М

C = Ионограф 500СМД

D = Контаминометр СМ-5

E = Омегаметр 600Р

F = Омегаметр 600СМД

G = Ионекс 2000

H = Айком 5000

I = Контаминометр СМ-5

Смотрите график в оригинале, стр. 38

Динамические системы: Взаимодействие флюса/изопропанола в растворе (сильный и слабый флюс)

Подписи:

A = Зеро Ион

B = Ионограф 500М

C = Ионограф 500СМД

D = Контаминометр СМ-5

E = Омегаметр 600Р

F = Омегаметр 600СМД

G = Ионекс 2000

H = Айком 5000

I = Контаминометр СМ-5

Смотрите график в оригинале, стр. 39

Статические системы: Эффект объема в растворе (сильный и слабый флюс)

Подписи:

A = Зеро Ион

B = Ионограф 500M

C = Ионограф 500СМД

D = Контаминометр CM-5

E = Омегаметр 600P

F = Омегаметр 600СМД

G = Ионекс 2000

H = Айком 5000

I = Контаминометр CM-5

Лондон Хемикал

Зеро Ион

Динамическая система

Без нагрева

Погружение над распылением

Система «Зеро Ион»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания «в растворе»

Рандомизированный цикл прогона	Стандартный номер	A B C	A Количество остатков (μGR/IN^2)	B Изопропанол (объем %)	C Тип флюса	Ионное показание	Температура ячейки для испытаний

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 41

Смотрите оригинал, стр. 42

Таблица эффектов

Испытание «в растворе»

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 43

Зеро Ион – Основные эффекты

Зеро Ион – Взаимодействие двух факторов

Смотрите график в оригинале, стр. 44

Зеро Ион – Взаимодействие трех факторов

Смотрите таблицу в оригинале, стр. 45

Зеро Ион – Испытания в растворе

Дисперсионный анализ

Альфа Металз

Ионограф 500М

Динамическая система

Без нагрева

Погружение над распылением

Система «Ионограф 500М»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания «в растворе»

Рандомизированный цикл прогона	Стандарт. номер	A B C	A Количество остатков (μGR/IN^2)	B Изопропанол (объем %)	C Тип флюса	Ионное показание	Длительность испытания	Температ для ис

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 47

Смотрите оригинал, стр. 48

Таблица эффектов

Испытание «в растворе»

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 49

Ионограф 500М – Основные эффекты

Ионограф 500М – Взаимодействие двух факторов

Смотрите график в оригинале, стр. 50

Ионограф 500М – Взаимодействие трех факторов

Смотрите таблицу в оригинале, стр. 51

Ионограф 500М – Испытания в растворе

Дисперсионный анализ

Альфа Металз

Ионограф 500СМД

Динамическая система

Без нагрева

Погружение над распылением

Система «Ионограф 500СМД»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания «в растворе»

Рандомизированный цикл прогона	Стандарт. номер	A B C	A Количество остатков (µGR/IN²)	B Изопропанол (объем %)	C Тип флюса	Ионное показание	Длительность испытания	Температ для ис

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 53

Смотрите оригинал, стр. 54

Таблица эффектов

Испытание «в растворе»

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 55

Ионограф 500СМД – Основные эффекты

Ионограф 500СМД – Взаимодействие двух факторов

Смотрите график в оригинале, стр. 56

Ионограф 500СМД – Взаимодействие трех факторов

Смотрите таблицу в оригинале, стр. 57

Ионограф 500СМД – Испытания в растворе

Дисперсионный анализ

Протоник

Контаминометр СМ5 (динамический)

Динамическая система

Без нагрева

Без распыления

Система «Контаминометр СМ5»/Динамический режим

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания «в растворе»

Рандомизированный цикл прогона	Стандарт. номер	A B C	A Количество остатков (μGR/IN²)	B Изопропанол (объем %)	C Тип флюса	Ионное показание	Длительность испытания	Температ для ис

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 59

Смотрите оригинал, стр. 60

Таблица эффектов

Испытание «в растворе»

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 61

Контаминометр СМ-5 (динамический) – Основные эффекты

Контаминометр СМ-5 (динамический) – Взаимодействие двух факторов

Смотрите график в оригинале, стр. 62

Контаминометр СМ-5 (динамический) – Взаимодействие трех факторов

Смотрите таблицу в оригинале, стр. 63

Контаминометр СМ-5 (динамический) – Испытания в растворе

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

R – обозначает наблюдение с большим остатком.

Альфа Металз

Омегаметр 600P

Статическая система

Без нагрева

Без распыления

Система «Омегаметр 600Р»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания «в растворе»

Рандомизированный цикл прогона	Стандарт. номер	A B C	A Количество остатков (µGR/IN²)	B Изопропанол (объем %)	C Тип флюса	Ионное показание	Длительность испытания	Температ. для ис

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 65

Смотрите оригинал, стр. 66

Таблица эффектов

Испытание «в растворе»

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 67

Омегаметр 600Р – Основные эффекты

Омегаметр 600Р – Взаимодействие двух факторов (страница 1)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 68

Омегаметр 600Р – Взаимодействие двух факторов (страница 2)

Омегаметр 600Р – Взаимодействие трех факторов

Смотрите таблицу в оригинале, стр. 69

Омегаметр 600Р – Испытания в растворе

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

R – обозначает наблюдение с большим остатком.

Альфа Металз

Омегаметр 600СМД

Статическая система

Без нагрева

Погружение над распылением

Система «Омегаметр 600СМД»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания «в растворе»

Рандомизированный цикл прогона	Стандарт. номер	A B C	A Количество остатков (μGR/IN²)	B Изопропанол (объем %)	C Тип флюса	Ионное показание	Длительность испытания	Темпера… для ис…

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 71

Смотрите оригинал, стр. 72

Таблица эффектов

Испытание «в растворе»

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 73

Омегаметр 600СМД – Основные эффекты

Омегаметр 600СМД – Взаимодействие двух факторов (страница 1)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 74

Омегаметр 600СМД – Взаимодействие двух факторов (страница 2)

Омегаметр 600СМД – Взаимодействие трех факторов

Смотрите таблицу в оригинале, стр. 75

Омегаметр 600СМД – Испытания в растворе

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

R – обозначает наблюдение с большим остатком.

Кестер

Ионекс 2000 (серия 100)

Статическая система

Без нагрева

Погружение над распылением

Система «Ионекс 2000/100»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания «в растворе»

Рандомизированный цикл прогона	Стандарт. номер	A B C	A Количество остатков (μGR/IN^2)	B Изопропанол (объем %)	C Тип флюса	Ионное показание	Длительность испытания	Температ для ис

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 77

Смотрите оригинал, стр. 78

Таблица эффектов

Испытание «в растворе»

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 79

Ионекс 2000 – Основные эффекты

Ионекс 2009 – Взаимодействие двух факторов (страница 1)

Смотрите график в оригинале, стр. 80

Ионекс 2000 – Взаимодействие двух факторов (страница 2)

Ионекс 2000 – Взаимодействие трех факторов

Смотрите таблицу в оригинале, стр. 81

Ионекс 2000 – Испытания в растворе

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

R – обозначает наблюдение с большим остатком.

Уэстер

Айком 5000

Статическая система

С/без нагрева

Погружение над распылением

Система «Айком 5000 РГС»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания «в растворе»

Рандомизированный цикл прогона	Стандарт. номер	A B C	A Количество остатков (μGR/IN²)	B Изопропанол (объем %)	C Тип флюса	Ионное показание	Длительность испытания	Температ для ис

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 83

Смотрите оригинал, стр. 84

Таблица эффектов

Испытание «в растворе»

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 85

Айком 5000 – Основные эффекты

Айком 5000 – Взаимодействие двух факторов (страница 1)

Смотрите график в оригинале, стр. 86

Айком 5000– Взаимодействие двух факторов (страница 2)

Айком 5000 – Взаимодействие трех факторов

Смотрите таблицу в оригинале, стр. 87

Айком 5000– Испытания в растворе

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

R – обозначает наблюдение с большим остатком.

Протоник

Контаминометр CM5 (статический режим)

Статическая система

Без нагрева

Без распыления

Система «Контаминометр СМ5»/Статический режим

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания «в растворе»

Рандомизированный цикл прогона	Стандарт. номер	A B C	A Количество остатков ($\mu GR/IN^2$)	B Изопропанол (объем %)	C Тип флюса	Ионное показание	Длительность испытания	Темпера… для ис…

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 89

Смотрите оригинал, стр. 90

Таблица эффектов

Испытание «в растворе»

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 91

Контаминометр СМ-5 (статический) – Основные эффекты

Контаминометр СМ-5 (статический) – Взаимодействие двух факторов

Смотрите график в оригинале, стр. 92

Контаминометр СМ-5 (статический) – Взаимодействие трех факторов

Смотрите таблицу в оригинале, стр. 93

Контаминометр СМ-5 (статический) – Испытания в растворе

Дисперсионный анализ

Сравнение статических и динамических систем

Хотя во время испытаний были приняты строгие меры предосторожности для контроля всех рабочих параметров, результаты все же указывали на большие различия между системами. Однако в целом все статические системы показали сравнимые результаты в своей группе, а динамические – схожие результаты в своей группе.

Существует определенное расхождение или разделение между семействами динамических систем и статических систем, в особенности, при измерении остатков флюса. Для объяснения этого наблюдения было выведено две гипотезы. Во-первых, на динамических системах были получены высокие результаты измерений, так как деионизационные колонны не удаляли ионы при первом прохождении, и при обратном попадании в ячейку они считались повторно. Таким образом, гипотеза 1 объясняет, почему результаты динамических систем были такими высокими. Вторая гипотеза: если удельное сопротивление растворителя обусловливает способность элементов флюса ионизировать, и поскольку статические системы используют фиксированный объем растворителя, который не регенерируется в испытательном режиме, ионизирующая способность процесса ограничена. Другими словами, как только удельное сопротивление растворителя уменьшается, растворитель становится не таким агрессивным и не может ионизировать материал, удаленный с ПМП. Гипотеза 2 предполагает, что более низкие значения статических систем явились результатом не полностью ионизированного загрязнения и, следовательно, не измеренного. Динамические системы, согласно гипотезе 2, постоянно заменяют загрязненный раствор с низким сопротивлением чистым, агрессивным раствором с высоким сопротивлением.

Для проверки первой гипотезы две динамические системы были помещены рядом, и было выполнено «креативное соединение». Две системы были соединены вместе (смотрите Рисунок 17) для выполнения взаимной проверки.

Рисунок 17 Динамическая проверка

Вместо передачи растворителя из деионизационных колон Системы №1 назад в ячейку Системы №2, растворитель был направлен в ячейку Системы №2 так, чтобы его можно было измерить на предмет ионного загрязнения. Если ионное загрязнение могло попасть в Систему №1, и некоторое его количество также было измерено в Системе №2, тогда стало бы известно, что ионы просачивались через колонны и измерялись дважды.

Две системы работали одновременно примерно в течение 1 часа, чтобы вся смесь 75% изопропанола/воды смешалась и температура стабилизировалась. Было сделано четыре прогона с введением слабо ионизированного флюса в Систему №1 и Систему №2 по два раза в каждую. Результаты показали, что менее 0,5 $\mu g/in^2$ было измерено в Системе №1, когда загрязнение было введено в Систему №2. Отсутствие ионов было зарегистрировано в Системе №2, когда загрязнение было введено в Систему №1. Это значит, что загрязнение не было измерено дважды и что колонны в динамических системах правильно удалены ионы из растворителя во время испытания.

Для проверки второй гипотезы две статические системы были произвольно выбраны и настроены для выполнения испытаний в нормальном режиме с раствором 75%

изопропанола/воды. Испытание было настроено так, что 80, 40, 20 и 5 микролитровые образцы слабо ионизированного флюса были добавлены в установленный объем растворителя. Теоретически ионные результаты должны совпадать с объемом вводимого образца. Удвоив объем загрязнителя, вводимого в ячейку, результирующее ионное загрязнение также должно удвоиться. Это испытание было также проведено на двух динамических системах для подтверждения выводов, сделанных в предыдущем испытании. Микрограммы ионного загрязнения в зависимости от микролитров слабого флюса представлены в Таблице 5 на Рисунке 18.

Таблица 5 Зависимость объема флюса от ионных результатов

μлитры	5	10	20	40	80
Статическая система №1	5,30	8,20	14,90	27,00	49,10
Статическая система №2	6,40	10,20	16,70	28,50	48,20
«Ожидаемый» результат	5,87	11,74	23,48	46,96	93,92
Динамическая система №1	4,54	11,88	24,97	49,63	89,34
Динамическая система №2	7,25	12,14	24,94	48,12	100,3

Невозможно определить, какое количество эквивалента хлорида натрия реально содержится в 5 микролитрах слабого флюса, но мы знаем, что в 5 микролитрах его наполовину меньше, чем в 10, в 10 микролитрах наполовину меньше, чем 20 и т.д. Поскольку результаты для всех четырех систем были наиболее близки и погрешность эксперимента меньше всего при 5 микролитрах, среднее значение было отобрано и использовано как «ожидаемый» результат. Если предположить, что 5 микролитров слабо ионизированного флюса равняются 5,87 (+/-1,5) микрограммам эквивалента NaCl, то 10 микролитров флюса должно равняться 11,74 микрограммам эквивалента NaCl, 20 микролитров флюса должно равняться 23,48 микрограммам NaCl и т.д. Если это среднее значение истинно выражает 5 микролитров, то можно увидеть, что данные, полученные для динамических систем, соответствовали ожидаемым результатам. Результаты для статических систем, однако, не были достаточно высокими. Получается, что способность ионизировать загрязнение может быть задержана фиксированным объемом, связанным со статическим процессом.

Рисунок 18 Зависимость ионных результатов от объема флюса

Результаты испытаний платы и покрывающей пластины

Пробный образец. Общие тенденции и наблюдения

В динамическом режиме «Контаминометр СМ-5» демонстрировал поведение, отличное от прочих динамических систем, что не является темой обсуждений и выводов данного отчета. После анализа данных и предоставления компании «Протоник», стало ясно, что для исследования в EMPF была выслана неподходящая модель. Поставленная модель была спроектирована для больших площадей поверхности (больше чем 45 кв. дюймов). Она не достаточно чувствительна для малых площадей поверхности, требуемых программой испытаний. «Протоник» предложила использовать более концентрированный флюс на большей площади поверхности, равной 55, 30 и 5 $\mu g/in^2$. Однако ICTG решила, что программа испытаний не подлежит изменениям для одной системы без вреда для статистического расчета испытаний. Из-за нехватки времени «Протоник» не имела возможности предоставить другую модель, более подходящую нашим требованиям.

Одним из первых наблюдений были измерения, сделанные при 30 $\mu g/in^2$, которые должны были быть центральными точками графиков «основных эффектов». Когда необработанные данные и графики были изучены, данные центральных точек были гораздо больше, чем ожидалось. К сожалению, это наблюдение было сделано, когда большая часть (если не все) лабораторных работ завершилась. Три наличествующих раствора флюса были сравнены с тремя свежими растворами флюса. «Ионограф 500М» был произвольно выбран для этого испытания. Система была запущена при 80% спирта (так как это соотношение присутствовало в системе в тот момент) и были запущены стандарты. Результаты показали, что при 5 $\mu g/in^2$ старые образцы по сравнению с новыми были идентичными и при 20 $\mu g/in^2$ старые образцы по сравнению с новыми аналогично. Образцы 30 $\mu g/in^2$, однако, были различными. Усредненное измерение старого флюса составило 32,45 $\mu g/in^2$, раствор нового флюса составил только 12,65 $\mu g/in^2$.

Дополнительное испытание было выполнено при помощи «Ионограф 500М» с тремя разными концентрациями спирта и тремя свежими растворами флюса. Было выполнено испытание «в растворе» и испытание высушенного пробного образца. И снова новые растворы соответствовали ожидаемым результатам, показывая, что 30 $\mu g/in^2$ флюса, использованного при испытании пробного образца, было либо загрязнено, либо растворено неправильно.

Сравнивая слабо и сильно ионизированные флюсы во время испытаний «в растворе», три из четырех динамических систем показали незначимую переменную тогда, как оставшаяся динамическая и все статические системы показали значимую. Хотя слабо и сильно ионизированные флюсы оказались различными друг от друга, тенденции при изменении их переменных были идентичными. Как было ранее отмечено в данном документе, когда сильно ионизированные флюсы были нанесены на пробные образцы и высушены, появилась широкая вариантность данных. Из-за широкой вариантности и схожести откликов на слабо ионизированный флюс при изменении других переменных было решено не выполнять экстенсивные испытания на сильно ионизированном флюсе.

Поскольку на данном отрезке испытания был использован только слабо ионизированный флюс, таблица эффектов «в растворе» была пересчитана, и данные о сильном флюсе были опущены. Данные испытаний слабо ионизированного флюса «в растворе» могут далее быть введены в графики отдельной системы для удобного сравнения с данными пробного образца. Исключение данных испытаний сильно ионизированного флюса не меняет какие-либо тенденции, описанные выше.

Слабо ионизированный флюс был нанесен на испытательные платы и обработан в соответствии с процедурой, изложенной в данном документе. Остатки образовались из того же исходного раствора, использованного для испытаний «в растворе», однако, свежее растворение было произведено на этом отрезке испытаний. Ионные результаты всех систем представлены в общих графиках (ВСЕ СИСТЕМЫ) на следующих страницах для легкого выявления основных тенденций. Верхние графики (ИСПЫТАНИЕ ПЛАТЫ с БЛОКАМИ) представляют собой измерения, произведенные с пробным образцом, в то время как покрывающая пластина с отклонением была все еще на месте. Покрывающие пластины затем были удалены; пластины и контрольная плата были испытаны на предмет дополнительных остатков. Результаты «до» и «после» были объединены для получения общей картины, как представлено на графике ниже (ИСПЫТАНИЕ ПЛАТЫ Общий).

И снова наиболее значимая переменная, влияющая на конечные результаты, оказалась количеством остатков. Большее изменение остатков было отмечено в динамических системах, чем в статических системах, и разрыв между динамическим и статически семейством продолжил увеличиваться.

Эффект изопропанола был следующим по значимости с аналогичной тенденцией к понижению, отмеченной по мере изменения содержания спирта с 70% до 80%. Эффект на динамические системы было больше, чем на статические. В особенности «Ионограф 500М» подвергся воздействию при 80% изопропанола. Эти показания подверглись сомнению во время испытания, но повторный прогон выявил идентичные результаты.

Графики, представляющие степень воздействия, можно использовать для сравнения остатков, удаленных из-под 3 мил отклонения, и остатков, удаленных из-под 9 мил отклонения. Также можно сравнивать остатки, измеренные до и после удаления покрывающей пластины.

Что удивительно, глубина канала не имела ожидаемого эффекта. Изучая график, мы видим, что 3 мил линии близки к параллельным с 9 мил линиями, что говорит о том, что статические системы были равно эффективны при удалении загрязнения из-под обоих отклонений. Если обе линии были точно горизонтальны, это указывает на 100% удаление остатков до снятия пластины. Однако наклон линий показывает на то, что наличие некоторого количества остатков под обоими отклонениями по высоте.

Отклонения по высоте влияли на динамические системы больше, чем на статические. Там, где 3 мил и 9 мил были практически параллельны для статических систем, динамические данные имели различный наклон на графиках. Линии 9 мил были более горизонтальными. Это значит, что большинство остатков было удалено и измерено до удаления покрывающих пластин. Линии 3 мил имеют больший наклон, что указывает

на обнаружение большего количества остатков под 3 мил standoff после удаления покрывающей пластины. Это наблюдение подтверждается сравнением графиков остатков «плата с блоком» и «плата в общем». На общем графике видно, что при измерении всех остатков, все динамические системы имели идентичные показания. Изучая график «плата с блоком», видно, что «Ионограф 500М» подвергся наибольшему воздействию. Статистически единственная система, измерившая глубину канала как значимую, была «Ионограф 500М».

Эффект объема был, вероятно, самым необычным наблюдением, сделанным в этом исследовании. Когда объем увеличивали во время испытания «в растворе», результаты также имели тенденцию к увеличению. Но по какой-то причине, когда объем увеличивали во время испытания платы, ионные результаты имели тенденцию к понижению. Эта направленность была отмечена на большинстве систем; наиболее ярко выражено на оборудовании «Омегаметр 600СМД». На данной стадии объяснение этому наблюдению отсутствует.

Только на оборудовании «Омегаметр 600СМД» и «Айком 5000» можно было проводить испытания в режимах «Нагрев вкл.» и «Нагрев выкл.». Хотя статистически температура была значима только на «Омегаметр 600СМД», обе системы показали более высокие результаты в режиме «Нагрев вкл.». Данные также показали, что нагрев повлиял на 3 мил отклонение больше, чем на 9 мил отклонение.

Таблица эффектов

Испытание «в растворе» (только слабый флюс)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 101

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Таблица эффектов (Испытание плат с блоками)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 102

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Таблица эффектов (Испытание плат: итоговое)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 103

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 104

Все системы: эффект остатков – Испытание плат с блоками

Все системы: эффект остатка – Испытание плат: итоговое

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 105

Все системы: эффект изопропанола – Испытание плат с блоками

Все системы: эффект изопропанола – Испытание плат: итоговое

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 105

Все системы: эффект изопропанола – Испытание плат с блоками

Все системы: эффект изопропанола – Испытание плат: итоговое

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 106

Все системы: эффект отклонения по высоте – Испытание плат с блоками

Все системы: эффект отклонения по высоте – Испытание плат: итоговое

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 107

Статические системы: эффект отклонения по высоте – До и после удаления пластин

Статические системы: эффект отклонения по высоте – До и после удаления пластин

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 108

Статические системы: эффект объема – Испытание плат с блоками

Статические системы: эффект объема – Испытание плат: итоговое

Лондон Хемикал

Зеро Ион

Динамическая система

Без нагрева

Погружение над распылением

Система «Зеро Ион»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания слабого флюса/ПМП

Рандом. цикл прогона	Стандар. номер	A B C	A Кол-во ос-ков (µGR/IN²)	B ИПА (V %)	C Глубина канала (мил)	Ион. показание с блоком	Ион. показание без блока	Время исп-ния	Темп-ра ячейки с блоком/без блока

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 110

Таблица эффектов (Испытание плат с блоками)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 111

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Таблица эффектов (Испытание плат: итоговое)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 112

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 113

«Зеро Ион»: плата с блоком - Главные эффекты (только слабый флюс)

«Зеро Ион»: все платы - Главные эффекты (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 114

«Зеро Ион»: плата с блоком – Парное взаимодействие (только слабый флюс)

«Зеро Ион»: все платы – Парное взаимодействие (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 115

«Зеро Ион»: плата с блоком – Взаимодействие остатков/изопропанола (только слабый флюс)

«Зеро Ион»: все платы – Взаимодействие остатков/изопропанола (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 116

«Зеро Ион»: плата с блоком – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

«Зеро Ион»: все платы – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

Смотрите график в оригинале, стр. 117

«Зеро Ион»

Испытание в растворе (слабый флюс)

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 118

«Зеро Ион»

Испытание платы с блоком

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

R – обозначает наблюдение с большим стандартным остатком.

Смотрите график в оригинале, стр. 119

«Зеро Ион»

Итоговое испытание платы

Дисперсионный анализ

Альфа Економ

Ионограф 500M

Динамическая система

Без нагрева

Погружение над распылением

Система «Ионограф 500М»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания слабого флюса/ПМП

Рандом. цикл прогона	Стандар. номер	A B C	A Кол-во ос-ков ($\mu GR/IN^2$)	B ИПА (V %)	C Глубина канала (мил)	Ион. показание с блоком	Ион. показание без блока	Время исп-ния	Темп-ра ячейки

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 121

Таблица эффектов (Испытание плат с блоками)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 122

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Таблица эффектов (Испытание плат: итоговое)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 123

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 124

«Ионограф 500М»: плата с блоком - Главные эффекты (только слабый флюс)

«Ионограф 500М»: все платы - Главные эффекты (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 125

«Ионограф 500М»: плата с блоком – Парное взаимодействие (только слабый флюс)

«Ионограф 500М»: все платы – Парное взаимодействие (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 126

«Ионограф 500М»: плата с блоком – Взаимодействие остатков/изопропанола (только слабый флюс)

«Ионограф 500М»: все платы – Взаимодействие остатков/изопропанола (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 127

«Ионограф 500М»: плата с блоком – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

«Ионограф 500М»: все платы – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

Смотрите график в оригинале, стр. 128

«Ионограф 500М»

Испытание в растворе (слабый флюс)

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 129

«Ионограф 500М»

Испытание платы с блоком

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 130

«Ионограф 500М»

Итоговое испытание платы

Дисперсионный анализ

Альфа Металз

Ионограф 500СМД

Динамические системы

Без нагрева

Погружение над распылением

Система «Ионограф 500СМД»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания слабого флюса/ПМП

Рандом. цикл прогона	Стандар. номер	A B C	A Кол-во ос-ков (μGR/IN^2)	B ИПА (V %)	C Глубина канала (мил)	Ион. показание с блоком	Ион. показание без блока	Время исп-ния	Темп-ра ячейки

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 132

Таблица эффектов (Испытание плат с блоками)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 133

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Таблица эффектов (Испытание плат: итоговое)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 134

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 135

«Ионограф 500СМД»: плата с блоком - Главные эффекты (только слабый флюс)

«Ионограф 500СМД»: все платы - Главные эффекты (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 136

«Ионограф 500СМД»: плата с блоком – Парное взаимодействие (только слабый флюс)

«Ионограф 500СМД»: все платы – Парное взаимодействие (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 137

«Ионограф 500СМД»: плата с блоком – Взаимодействие остатков/изопропанола (только слабый флюс)

«Ионограф 500СМД»: все платы – Взаимодействие остатков/изопропанола (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 138

«Ионограф 500СМД»: плата с блоком – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

«Ионограф 500СМД»: все платы – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

Смотрите график в оригинале, стр. 139

«Ионограф 500СМД»

Испытание в растворе (слабый флюс)

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 140

«Ионограф 500СМД»

Испытание платы с блоком

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 141

«Ионограф 500СМД»

Итоговое испытание платы

Дисперсионный анализ

Протоник

Контаминометр CM5 (динамический режим)

Динамическая система

Без нагрева

Без распыления

Система «Контаминометр CM5»/Динамический режим

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания слабого флюса/ПМП

Рандом. цикл прогона	Стандар. номер	A B C	A Кол-во ос-ков ($\mu GR/IN^2$)	B ИПА (V %)	C Глубина канала (мил)	Ион. показание с блоком	Ион. показание без блока	Время испытания с блоком/без блока	Темп-ра ячейки с блоком/без блока

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 143

Таблица эффектов (Испытание плат с блоками)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 144

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Таблица эффектов (Испытание плат: итоговое)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 145

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 146

«Контаминометр» (динамический): плата с блоком - Главные эффекты (только слабый флюс)

«Контаминометр» (динамический): все платы - Главные эффекты (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 147

«Контаминометр» (динамический): плата с блоком – Парное взаимодействие (только слабый флюс)

«Контаминометр» (динамический): все платы – Парное взаимодействие (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 148

«Контаминометр» (динамический): плата с блоком – Взаимодействие остатков/изопропанола (только слабый флюс)

«Контаминометр» (динамический): все платы – Взаимодействие остатков/изопропанола (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 149

«Контаминометр»: плата с блоком – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

«Контаминометр»: все платы – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

Смотрите график в оригинале, стр. 150

«Контаминометр СМ-5» (динамический)

Испытание в растворе (слабый флюс)

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 151

«Контаминометр СМ-5» (динамический)

Испытание платы с блоком

Дисперсионный анализ Необычные наблюдения

Смотрите график в оригинале, стр. 152

«Контаминометр CM-5» (динамический)

Итоговое испытание платы

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

Альфа Металз

Омегаметр 600P

Статическая система

Без нагрева

Без распыления

Система «Омегаметр 600Р»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания слабого флюса/ПМП

Рандом. цикл прогона	Стандар. номер	A B C D	A Кол-во ос-ков (μGR/IN^2)	B ИПА (V %)	D V ячейки (полный%)	C Глубина канала (мил)	Ион. показание с блоком	Ион. показание без блока	Время исп-ния с блоком/без блока	Т я с бл бло

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 154

Таблица эффектов (Испытание плат с блоками)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 155

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Таблица эффектов (Испытание плат: итоговое)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 156

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 157

«Омегаметр 600P»: плата с блоком - Главные эффекты (только слабый флюс)

«Омегаметр 600P»: все платы - Главные эффекты (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 158

«Омегаметр 600P»: плата с блоком – Парное взаимодействие с отклонением (только слабый флюс)

«Омегаметр 600P»: все платы – Парное взаимодействие с отклонением (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 159

«Омегаметр 600P»: плата с блоком – Другое парное взаимодействие (только слабый флюс)

«Омегаметр 600P»: все платы – Другое парное взаимодействие (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 160

«Омегаметр 600P»: плата с блоком – Взаимодействие трех факторов

«Омегаметр 600P»: все платы – Взаимодействие трех факторов

Смотрите график в оригинале, стр. 161

«Омегаметр 600P»

Испытание в растворе (слабый флюс)

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 162

«Омегаметр 600P»

Испытание платы с блоком

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

Смотрите график в оригинале, стр. 163

«Омегаметр 600P»

Итоговое испытание платы

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

Альфа Металз

Омегаметр 600СМД

Статическая система

С нагревом

Погружение над распылением

Система «Омегаметр 600СМД»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания слабого флюса/ПМП

Рандом. цикл прогона	Станд. номер	A B C D E	A Кол-во ос-ков (μGR/IN^2)	B ИПА (V %)	E Тем-ра Раств ора (вкл/в ыкл)	D V ячейк и (полн ый%)	C Глуби на канал а (мил)	Ион. показа ние с блоком	Ион. показа ние без блока	Время исп ния с блоком/бе блока

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 154

Таблица эффектов (Испытание плат с блоками)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 166

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Таблица эффектов (Испытание плат: итоговое)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 167

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 168

«Омегаметр 600СМД»: плата с блоком - Главные эффекты (только слабый флюс)

«Омегаметр 600СМД»: все платы - Главные эффекты (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 169

«Омегаметр 600СМД»: плата с блоком – Парное взаимодействие с нагревом (только слабый флюс)

«Омегаметр 600СМД»: все платы – Парное взаимодействие с нагревом (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 170

«Омегаметр 600СМД»: плата с блоком – Другое парное взаимодействие с отклонением (только слабый флюс)

«Омегаметр 600СМД»: все платы – Другое парное взаимодействие с отклонением (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 171

«Омегаметр 600СМД»: плата с блоком – Другое парное взаимодействие (только слабый флюс)

«Омегаметр 600СМД»: все платы – Другое парное взаимодействие (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 172

«Омегаметр 600СМД»: плата с блоком – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

«Омегаметр 600СМД»: все платы – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

Смотрите график в оригинале, стр. 173

«Омегаметр 600СМД»

Испытание в растворе (слабый флюс)

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

Смотрите график в оригинале, стр. 174

«Омегаметр 600СМД»

Испытание платы с блоком

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

Смотрите график в оригинале, стр. 175

«Омегаметр 600СМД»

Итоговое испытание платы

Дисперсионный анализ

Кестер

Ионекс 2000 (серия 100)

Статическая система

Без нагрева

Погружение над распылением

Система «Ионекс 2000/100»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания слабого флюса/ПМП

Рандом. цикл прогона	Станд. номер	A B C D	A Кол-во ос-ков (μGR/IN^2)	B ИПА (V %)	D V ячейки (полный%)	C Глубина канала (мил)	Ион. показание с блоком	Ион. показание без блока	Время исп-ния с блоком/без блока	Т я с бл бло

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 177

Таблица эффектов (Испытание плат с блоками)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 178

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Таблица эффектов (Испытание плат: итоговое)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 179

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 180

«Ионекс 2000»: плата с блоком - Главные эффекты (только слабый флюс)

«Ионекс 2000»: все платы - Главные эффекты (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 181

«Ионекс 2000»: плата с блоком – Парное взаимодействие с отклонением (только слабый флюс)

«Ионекс 2000»: все платы – Парное взаимодействие с отклонением (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 182

«Ионекс 2000»: плата с блоком – Другое парное взаимодействие (только слабый флюс)

«Ионекс 2000»: все платы – Другое парное взаимодействие (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 183

«Ионекс 2000»: плата с блоком – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

«Ионекс 2000»: все платы – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

Смотрите график в оригинале, стр. 184

«Ионекс 2000»

Испытание в растворе (слабый флюс)

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

Смотрите график в оригинале, стр. 185

«Ионекс 2000»

Испытание платы с блоком

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 186

«Ионекс 2000»

Итоговое испытание платы

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

Уэстер

Айком 5000

Статическая система

С/без нагрева

Погружение над распылением

Система «Айком 5000 РГС»

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания слабого флюса/ПМП

Рандом. цикл прогона	Станд. номер	A B C D E	A Кол-во ос-ков (µGR/IN²)	B ИПА (V %)	E Тем-ра раствора (вкл/выкл)	D V ячейки (полный%)	C Глубина канала (мил)	Ион. показание с блоком	Ион. показание без блока	Время исп ния с блоком/б блока

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 188

Таблица эффектов (Испытание плат с блоками)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 189

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[X] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Таблица эффектов (Испытание плат: итоговое)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 190

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 191

«Айком 5000»: плата с блоком - Главные эффекты (только слабый флюс)

«Айком 5000»: все платы - Главные эффекты (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 192

«Айком 5000»: плата с блоком – Парное взаимодействие с нагревом (только слабый флюс)

«Айком 5000»: все платы – Парное взаимодействие с нагревом (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 193

«Айком 5000»: плата с блоком – Парное взаимодействие с отклонением (только слабый флюс)

«Айком 5000»: все платы – Парное взаимодействие с отклонением (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 194

«Айком 5000»: плата с блоком – Другое парное взаимодействие (только слабый флюс)

«Айком 5000»: все платы – Другое парное взаимодействие (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 195

«Айком 5000»: плата с блоком – Взаимодействие трех факторов

«Айком 5000»: все платы – Взаимодействие трех факторов

Смотрите график в оригинале, стр. 196

«Айком 5000»

Испытание в растворе (слабый флюс)

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 197

«Айком 5000»

Испытание платы с блоком

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 198

«Айком 5000»

Итоговое испытание платы

Дисперсионный анализ

Необычные наблюдения

Протоник

Контаминометр CM5 (статический режим)

Статическая система

Без нагрева

Без распыления

Система «Контаминометр СМ-5»/Статический режим

Рандомизированная экспериментальная матрица

Испытания слабого флюса/ПМП

Рандом. цикл прогона	Станд. номер	A B C	A Кол-во ос-ков (µGR/IN²)	B ИПА (V %)	C Глубина канала (мил)	Ионное показание с блоком	Ионное показание без блоком	Время испытания с блоком/без блока	Температура ячейки

Числовые значения смотрите в оригинале на стр. 200

Таблица эффектов (Испытание плат с блоками)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 201

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Таблица эффектов (Испытание плат: итоговое)

Смотрите цифровые значения в оригинале, стр. 202

Подписи к таблице:

Средний отклик = среднее значение всех прогонов (за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса конструкции).

Основные эффекты = среднее изменение в отклике, когда показатель этого фактора изменился с низкого на высокий уровень.

Взаимосвязи = разница в эффекте одного фактора при изменении уровня другого фактора(-ов). Обозначение: R*I – взаимосвязь Остатка/Изопропанола.

Центральные точки = разница между откликом, зафиксированным в центральной точке, и ожидаемого значения в центре не основе других тестовых прогонов (ожидаемое значение = средний отклик)

* Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 95% на основе погрешности эксперимента.

[x] Указывает на то, что фактор статистически значимый с доверительным уровнем вероятности 90 - 95%.

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 203

«Контаминометр» (статический режим): плата с блоком - Главные эффекты (только слабый флюс)

«Контаминометр» (статический режим): все платы - Главные эффекты (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 204

«Контаминометр» (статический режим): плата с блоком – Парное взаимодействие (только слабый флюс)

«Контаминометр» (статический режим): все платы – Парное взаимодействие (только слабый флюс)

Смотрите 2 графика в оригинале, стр. 205

«Контаминометр» (статический режим): плата с блоком – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

«Контаминометр» (статический режим): все платы – Взаимодействие трех факторов (только слабый флюс)

Смотрите график в оригинале, стр. 206

«Контаминометр CM-5» (статический режим)

Испытание в растворе (слабый флюс)

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 207

«Контаминометр CM-5» (статический режим)

Испытание платы с блоком

Дисперсионный анализ

Смотрите график в оригинале, стр. 208

«Контаминометр CM-5» (статический режим)

Итоговое испытание платы

Дисперсионный анализ

Заключение

Испытания, проведенные в EMPF, показали, что, по мере развития технологий и сокращения площадей ПМП, остатки становится все сложнее измерять с высокой точностью.

Характерные наблюдения/заключения:

- **Количество остатков**. Самый значимый фактор, влияющий на конечный результат загрязнения, был количеством измеренных остатков. Эта переменная была значима для данных испытаний «в растворе» и на «пробном образце», независимо от типа системы – динамической или статической. Интересно отметить, что статические и динамические системы были сгруппированы раздельно, но динамические системы измерили более значимое изменение от низкого до высокого уровня концентрации, выявляя более тесное группирование. Также можно отметить, что статические системы имели аналогичные или более высокие показания, чем динамические при низких уровнях концентрации, но более низкие при высоких концентрациях.
- **Концентрация спирта**. Возможно, следующей наиболее значимой переменной было увеличение концентрации изопропанола с 70% до 80% со снижением результатов. Это не удивительно, учитывая, что именно вода ионизирует загрязнение, а спирт нужен только для растворения неионного (канифольного) материала для получения доступа к любому захваченному ионному загрязнению. 70% раствор содержит больше воды, чем 80%, таким образом, придавая этому раствору большей способности ионизации. Этот эффект был виден как при испытаниях «в растворе», так и на пробном образце. Существует определенная группировка, связанная со сравнением статических и динамических систем, но динамические системы подверглись большему воздействию изменению содержания спирта. Это происходило, вероятно, из-за того, что динамические системы подразумевают бесконечный объем раствора. Таким образом, «свежий» раствор непрерывно обеспечивает ионизацию загрязняющих остатков.
- **Эффект флюса**. Сравнивая слабо ионизированный и сильно ионизированный флюс во время испытания «в растворе», динамические системы показали незначимую переменную, за исключением оборудования «Ионограф 500СМД». «Ионограф 500СМД» и все статические системы показали, что тип флюса является значимой переменной. Было интересно отметить, что эффект флюса на все статические системы был положительным, когда тип флюса изменялся от слабого к сильному тогда, как динамические системы показали несколько негативный эффект. Хотя сильно ионизированные и слабо ионизированные флюсы отличались друг от друга, тенденции при изменении других переменных были схожими. Когда флюсы были нанесены на пробные образцы и отверждены, стала появляться широкая вариантность данных сильно ионизированного флюса. Эти колебания вызвали сомнения в статистической достоверности данных. Схожие вариации не были обнаружены при нанесении слабо ионизированного флюса на пробные образцы. Из-за широких вариаций и аналогичности тенденций со слабо ионизированным флюсом при изменении других переменных во время испытания «в растворе», ICTG решила не проводить экстенсивные испытания на сильно ионизированном флюсе.

- **Отклонение по высоте** Отклонение по высоте не имело ожидаемого эффекта в статических системах. Хотя оно было увеличено с 3 до 9 мил, аналогичное количество остатков сохранилось под пластиной из нержавеющей стали, и не было отмечено каких-либо значимых тенденций. Будучи незначимой, отклонение по высоте имела больший эффект на динамические системы, чем на статические. Это значит, что более высокий процент остатков был удален из-под 9 мил отклонения, чем из-под 3 мил отклонения. Статистически «Ионограф 500М» была единственной системой, измерившей значимое изменение остатков, обнаруженных, когда отклонение по высоте было увеличено.
- **Эффект температуры.** Температура растворителя во всех системах увеличивалась, но стабилизировалась во время работы, даже в системах без нагревательного элемента. Благодаря насосам, перемещающим растворитель и трению, температура растворителя обычно увеличивалась в ненагреваемой системе на 10 - 15 °F от первоначальной комнатной температуры. Это соотносится с исследованием, сделанным в Дюпоне. Только «Айком 5000» и «Омегаметр 600СМД» могли быть запущены с нагревом в положении «вкл.» или «выкл.». Обе системы показали более высокие результаты при нагреве растворителя. Кроме того, нагреваемые системы при пересечении с объемом растворителя показали более значимую переменную объема.
- **Предел диапазона измерений.** Большинство систем имеют область – предел диапазона измерений или зону нечувствительности – превышающую рабочий диапазон зонда каротажа сопротивления. Поскольку каждый зонд имеет максимальный диапазон, количество ионных остатков, превышающее рабочий диапазон систем не будет измерено, пока удельное сопротивление не упадет ниже верхнего предела зонда. Например, если максимальный рабочий диапазон составляет 100 мегом/см, а сопротивление превышает это значение, дисплей продолжит отображать 100 мегаом/см. Любое количество ионных остатков, необходимое для снижения сопротивления до 100 мегаом/см, не будет измерено. Однако, количество остатков, необходимое для снижения удельного сопротивления со 150 мегаом/см до 140 мегаом/см гораздо меньше, чем количество остатков, необходимое для снижения удельного сопротивления со 50 мегаом/см до 40 мегаом/см. Поскольку существует область, где ионы пропускаются через зонд, но не обнаруживаются, следует избегать предела диапазона измерений. В противном случае результатом будут низкие ложные показания. Предела можно избежать, начав каждое испытание в одной и той же точке и не превышать длительного цикла очистки.
- **Поглощение диоксида углерода.** Диоксид углерода растворяется в воде и образует угольную кислоту. В результате этого процесса образуются слабые ионы H^+ и HCO_3^-, которые приведут к повышению общих ионных показаний. Экстракции в течение более длительного времени приведут к более высоким погрешностям CO_2, так как со временем больше CO_2 поглощается из атмосферы. В большинстве случаев воздействие CO_2 небольшое, что приводит к относительно малой погрешности результатов измерений. Однако если мы измеряем маленький образец в большом объеме экстрагирующего раствора, общее воздействие загрязнения в микрограммах повысит относительную погрешность показаний, выражаемую в $\mu g/in^2$. Не было обнаружено какой-либо взаимосвязи между повышенным поглощением CO_2 и использованием распыления. Поглощение CO_2 не было обнаружено в динамических системах,

поскольку они непрерывно деионизируют растворитель и удаляют небольшое количество CO_2 перед тем, как он аккумулируется в измеримом количестве. Однако потребуются дальнейшие испытания для получения полной картины характеристик эффекта CO_2.

- **Эффект объема.** Вероятно, эффект объема был наиболее необычным наблюдением, сделанным в данном исследовании. При увеличении объема с низкого на высокий уровень во время испытания «в растворе», результаты также имели тенденцию к повышению. Это соотносится с изначальным предположением, что большее наличие раствора обеспечивает большую ионизирующую способность. Кроме того, нагреваемые системы («Омегаметр 600 СМД» и «Айком 5000) показали, что переменная объема более значима. Однако напротив, если объем увеличивался время испытания купона, ионные результаты имели тенденции к снижению. Это снижение показаний ионных измерений согласуется на статических и динамических системах, за исключением «Айком 5000». В настоящее время объяснение данному наблюдению отсутствует.

Общие наблюдения

- Во время испытаний расхождение или различие между динамическим и статическим семейством оборудования для испытаний на чистоту было очевидно. Статические системы имели тенденцию к группировке полученных данных, как и динамические системы. Однако группировки различались в том, что уровни загрязнения, обнаруженного динамическими системами, были выше тогда, как статические системы имели тенденцию к группировке того же уровня загрязнения до более низкого уровня удельного сопротивления. Дополнительные испытания, не изложенные в изначальном плане, показали, что присутствовали явные ограничения, связанные со «статическим» процессом, которые мешал ионизирующей способности раствора и измерениям загрязнения как аналитического инструмента.
- Испытание на ионную удельную проводимость не является единственным методом оценки и выбора процесса или материала. Другие методы включают ионообменную хроматографию, жидкостную хроматографию высокого давления, сопротивление поверхностной изоляции (СПИ), электрохимическую миграцию и анализ остатков канифоли.
- Точное регулирование переменных требуется для методов испытаний на ионную удельную проводимость/сопротивление и оборудования для обеспечения согласованности и последовательности. Современные методы и оборудование для испытаний на ионную удельную проводимость полноценно применяются как инструменты управления технологическими процессами. Хотя существуют переменные, влияющие на конечные ионные показания, все системы распознают сбои оборудования, погрешности обработки и операции с материалами. Современные системы проверки ионной чистоты показывают пользователям незначительные изменения в существующем процессе изготовления при использовании их в качестве инструментов управления технологическими процессами.
- Тогда, как системы подходят для управления процессами, нынешние методы и оборудование для испытаний на ионную удельную проводимость/сопротивление не являются точными аналитическими инструментами и должны применяться только для мониторинга относительных изменений чистоты. Это соотносится с разработкой и применением методов испытаний с 1972 года.
- Условия годности/негодности и факторы эквивалентности не применимы для методов и оборудования для испытаний на ионную удельную проводимость/сопротивление из-за упомянутых выше проблем с точностью. Однако пока не разработан более точный метод анализа остаточного загрязнения, они являются единственным имеющимся инструментом и все современные требования контрактов должны быть соблюдены в соответствие с ними.

Приложение А

Планирование экспериментов: общий обзор

Зачем нужно планирование экспериментов?

Целью проведения экспериментов является поиск объяснения того, как отдельно взятые факторы влияют на исход процесса или функционирование изделия. Успешно поставленный эксперимент должен обеспечивать научный коллектив надежными данными, которые согласуются или не согласуются с гипотезами о ходе процесса работы. Совпадение выходных данных с гипотезой исследования улучшает прогнозирование результатов; несовпадение приводит к пересмотру гипотез, которые могут быть изучены при последующем экспериментировании.

Некоторые преимущества использования статистически спланированного эксперимента:

- решение проблемы вариаций (погрешность эксперимента)

- распознавание нелинейных эффектов и эффектов взаимодействия

- относительная простота анализа

- эффективное экспериментирование (больше данных при сокращении числа испытаний)

В некоторой степени вариации присутствуют во всех процессах. В любом эксперименте вариации из-за неконтролируемых факторов или погрешности измерения приводят к ложным результатам. Хорошо спланированный эксперимент снижает влияние погрешности эксперимента. Также он позволяет определить «значимость» воздействия изучаемых факторов. К ложным выводам приходят, когда воздействие из-за отдельного фактора нелинейно или если оно зависит от другого фактора (эффект взаимодействия). Статистически спланированный эксперимент облегчает задачу определения этого комплексного воздействия.

Наиболее эффективный и надежный подход – применение статистически спланированного эксперимента. Хорошо спланированный эксперимент обеспечивает результаты при использовании простейших методов анализа тогда, как плохо спланированный не гарантирует получение полезной информации даже при более сложном анализе.

Статистически спланированный эксперимент

На практике существует несколько типов спланированных экспериментов. Используемые в данном исследовании типы основаны либо на полностью факторном плане, либо на плане факторного эксперимента с дробными репликами. Они используются для параллельного изучения множества факторов и определения факторов со значимым

эффектом. Обычно каждый фактор прогоняется на двух различных «уровнях» (две различные настройки). При полностью факторном плане в эксперименте прогоняются все возможные комбинации. Простейший способ изобразить это геометрически: при наличии двух факторов испытательными прогонами эксперимента будут четыре угла квадрата (Рисунок 19).

Рисунок 19 Полностью факторный план

При наличии трех факторов, прогоны будут восьмью углами куба (рисунок 20).

Рисунок 20 План факторного эксперимента с дробными репликами

При плане факторного эксперимента с дробными репликами в эксперименте прогоняются не все комбинации, но при выборе правильных комбинаций, они могут обеспечить надежные данные о факторах. На плане, представленном на Рисунке 20, угол куба «*» или «о» будут примером плана факторного эксперимента с дробными репликами для трех факторов.

Будучи «ортогональными», статистически спланированные эксперименты имеют преимущества при анализе и интерпретации. Ортогональный план сбалансирован относительно всех факторов. Это видно, если разбить куб на плоскости или линии. В экспериментах на ионную проводимость повторные прогоны в конце каждого эксперимента приводят к дисбалансу плана (обычно относительно изопропанола), что усложняет анализ.

Во многих экспериментах прогоны испытания включены в центральную точку для определения наличия нелинейного эффекта (Рисунок 21).

Рисунок 21 План факторного эксперимента с дробными репликами и центральной точкой

Однако данные, полученные с центральной точки, не показывают, какой фактор отвечает за нелинейный эффект. Дополнительные прогоны могут понадобиться для подтверждения гипотез относительно этого. Если есть сильное подозрение, что отдельный фактор имеет нелинейный эффект, тогда план должен быть составлен так, чтобы включать, по меньшей мере, три уровня этого фактора по всему плану вместо центральной точки.

Трактовка результатов

Для описания анализа и трактовки результатов на Рисунке 22 представлен простой пример двухфакторного эксперимента. Два фактора (A,B) прогоняются на двух уровнях (-,+). Знаки «-» и «+» представляют «-1» и «+1», которые являются стандартными кодовыми значениями уровней факторного плана. Тогда центральной точкой будет «0». Эффекты, которые можно определить в этом примере следующие: главный эффект А, главный эффект В, эффект взаимодействия между ними (АВ). Центральная точка используется для испытания на линейность.

Рисунок 22 Простой пример факторного плана

- Главные эффекты

Главный эффект – это разница в выводе при изменении фактора с низкого на высокий уровень. Когда план сбалансирован, главный эффект является средним значением всех прогонов на низком уровне, вычтенным из среднего значения все уровней на высоком уровне. В примере на Рисунке 22, главный эффект A будет:

A = (13,8 + 16,6) / 2 – (6,8 + 9,4) / 2 = 15,2 – 8,1 = 7,1

B = (6,8 + 13,8) / 2 – (9,4 + 16,6) / 2 = 10,3 – 13,0 = -2,7

Аналогичным образом главный эффект B будет составлять -2,7. Отрицательный эффект означает, что отклик (вывод) уменьшается по мере изменения фактора B с низкого на высокий уровень. Главные эффекты графически представлены в построении среднего отклика на каждом уровне (смотрите Рисунок 23).

Рисунок 23 График главных эффектов

Отклик в центральной точке построен на том же графике для визуальной проверки кривизны (нелинейности). Он должен проходить по геометрической оси или рядом с ней, как в этом примере, когда эффекты линейны. Во многих экспериментах на ионную удельную проводимость центральная точка проходит далеко от оси, что говорит о нелинейном эффекте.

- Взаимодействие

Используя пример на Рисунке 22, эффект каждого фактора состоятелен, независимо от уровня другого фактора. Эффект фактора A равен 7,0, когда B на высоком уровне и 7,2, когда B – на низком. Аналогичным образом эффект B равен -2,8 на высоком уровне A и 2,6 на низком уровне A. Эффекты этих факторов независимы. Взаимосвязь отсутствует.

Когда эффект одного фактора зависит от уровня одного или нескольких факторов, тогда взаимосвязь существует. В этом случае эффекты этих факторов не могут трактоваться раздельно. Рассмотрим пример на Рисунке 24.

Рисунок 24 Пример взаимодействия

Эффект фактора C равен 10,6, когда фактор D на высоком уровне, но равен только 2,6, когда D на низком уровне. Аналогично эффект D равен 3,4 на высоком уровне C, и он направлен в противоположную сторону (-4,6), когда фактор C на низком уровне. Это называется парное взаимодействие. Обычно его обозначают П*В (C*D) или ПВ (CD).

Эффект взаимодействия рассчитывается путем вычитания эффекта фактора C на низком уровне фактора D из эффекта фактора C на высоком уровне фактора D и деления пополам, что составляет (10,6 – 2,6) / 2 = 4,0. Обратите внимание, что тоже значение получается при использовании эффекта D на двух уровнях C, т.е. (3,4 - {-4,6}) / 2 = 4,0. Эффект взаимодействия A*B в другом примере равен только -0,1.

Рассчитанное значение эффекта взаимодействия используется для определения значимости эффекта, но оно имеет небольшой интуитивный смысл. Чтобы проще всего понять эффекты – обратитесь к графику взаимодействия (Рисунок 25), который просто изображает эффект одного фактора на каждом уровне другого.

Рисунок 25 График взаимодействия

Разница наклонов является характеристикой взаимодействия. Параллельные и около параллельные ли НИИ показывают, что факторы независимы (взаимодействие отсутствует).

- Статистический анализ

Результаты любого эксперимента подвергаются воздействию естественной вариации в процессе. Могут быть сделаны ложные выводы, если эта вариация или погрешность эксперимента велика относительно величины эффектов. Экспериментатор, не учитывающий погрешность эксперимента во время проведения анализа, может прийти к ложным выводам и потерять много времени, объясняя эффекты, которые в действительности не существуют. Хорошо спланированный эксперимент снижает влияние вариации на результаты. Статистический анализ погрешности определяет реальное существование того или иного эффекта. Такой эффект называется статистически значимым.

Существует несколько статистических испытаний, определяющих значимость эффекта. Каждое из этих испытаний основано на вероятности наблюдения во время эксперимента эффекта этой величины или больше, если истинное значение эффекта равнялось нулю. Другими словами, какова случайная вероятность наблюдения эффекта такой величины, полностью благодаря погрешности эксперимента? Если такая вероятность низка, тогда «p-value» (значение вероятности) должно быть менее 0,05 (5%). В противном случае, можно утверждать, что существует 95% уверенность, что эффект значимый.

Из-за того, что эксперименты на ионную удельную проводимость были несбалансированны, данные был проанализированы при помощи методики, называемой множественная регрессия. Данные первостепенной важности в результатах статистического анализа содержатся в столбцах «предиктор», коэффициент («coef») и p-value («p»). В столбце предиктора указаны эффекты, где R (остаток), I (изопропанол), V (объем) и др. – главные эффекты (первая буква каждого фактора). Взаимодействие обозначено «*» между буквами. Например, R*I - взаимодействие остатка/изопропанола.

Эффекты получены из коэффициентов, рассчитанных в этом анализе, но их трактовка согласуется с ранее описанной трактовкой в этом тексте. Эффект всех главных эффектов и взаимосвязей просто равен двойному значению коэффициента. Для постоянной и центральной точки («CTR.PT») эффект равен коэффициенту. «Постоянная» - это средний отклик всех прогонов, за исключением центральных точек, отрегулированных для дисбаланса плана. Это значение, которое ожидалось в центральной точке на основе других данных. Все прочие коэффициенты являются изменением отклика относительно этой постоянной, когда фактор находится на высоком или низком уровне. Для парного взаимодействия прибавьте коэффициент, когда оба фактора находятся на их высоком или низком уровне. Произведите вычитание, когда один на высоком уровне, а другой на низком. (Графики – самый простой способ понять взаимодействия). Для центральной точки коэффициент является разницей того, что ожидалось увидеть и того,

что было в действительности. Постоянная плюс этот коэффициент составляют наблюдаемое среднее значение в центре.

Для всех значений статистическая значимость обусловлена значением вероятности (p-value) менее 0,05. Однако в некоторых случаях значение вероятности между 0,05 и 0,10 стоило упоминания как минимально значимое.

Комментарии по испытаниям и результатам ионной удельной проводимости

Эксперименты, проведенные на оборудовании для испытаний на ионную удельную проводимость, были двухуровневыми полностью факторными планами и факторными планами с дробными репликами с центральными точками. Эти эксперименты часто называются планами «отсеивающего» эксперимента, так как хорошо подходят для выявления больших (значимых) эффектов, как сито просеивает гальку от песка и пыли. Их цель – определение факторов, на которых должен сосредоточить внимание экспериментатор для понимания или управления процессом. Они редко являются конечным этапом, но часто помогают осветить путь, которым хочет пойти экспериментатор. Обычно эксперимент не принято завершать на этом этапе, поскольку возникает много новых вопросов.

Анализ каждого из экспериментов включает таблицу эффектов, графическое представление главных эффектов и взаимодействий, а также статистический анализ. Графики удобны для понимания эффектов, но читателю следует уделить внимание только значимым эффектам и общим тенденциям, видимым во всех системах. Нет смысла пытаться делать выводы из незначимых эффектов и небольших расхождений между системами. (Не упустите из вида гальку на сите, делая выводы о песке!)

Список цитированной литературы

Смотрите оригинал, стр. 220



IPC-TR-583

An In-Depth Look At Ionic Cleanliness Testing

Reprinted with the direction of the Ionic Conductivity/Ion Chromatography Test Task Group (5-32a) of the Cleaning and Coating Committee (5-30) of IPC

Users of this publication are encouraged to participate in the development of future revisions.

Contact:

IPC
3000 Lakeside Drive, Suite 309S
Bannockburn, Illinois
60015-1249
Tel 847 615.7100
Fax 847 615.7105

141

IPC-TR-583

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was a cooperative effort between the Electronics Manufacturing Productivity Facility (EMPF) and the IPC-Association Connecting Electronics Industries (IPC). The EMPF would like to thank the many people from the IPC Ionic Conductivity Task Group (ICTG) who were involved in the planning and implementing of this research. Together, the EMPF and IPC would like to thank all of the equipment vendors who donated the use of their equipment as well as some of the materials used in this study:

Alpha Metals
Kester Solder
London Chemical
Protonique
Westek

The statistical design was engineered by Jon Andell of Motorola and Jeff Vannoy and Steve Durdle of Qualstat. Steve spent several hours, both at work and at home, so that the data could be presented on time at various EMPF and IPC meetings. Steve is also responsible for writing the "Design of Experiments: Overview" that appears in Appendix A of this document.

The technician responsible for most of the laboratory work was Julie Kukelhan. This test required someone who was very meticulous and dedicated while conducting what was at times, very repetitive research. I personally would like to thank Julie for her understanding and determination when things didn't quite go right and I said "I've got an idea. Let's try….."

Thank You.

Tim Crawford
EMPF

Table of Contents

IPC-TR-583

EXECUTIVE SUMMARY

Testing performed at the Electronics Manufacturing Productivity Facility has shown that as technology advances and printed wiring assembly (PWA) surface areas get smaller, surface residues will become harder to measure accurately. On small surface areas, variables such as probe limitations, solvent volume, and even carbon dioxide from the air will influence ionic contamination measurements.

Most systems have what is termed a "deadband". The resistivity probe used in each system has a maximum measurement capability. For example, if the maximum capability of the probe is 100 megohm-cm and the resistivity of the solvent is actually 150 megohm-cm, the display will continue to read 100 megohm-cm. Any ionic residues that lower the resistance of the solvent from 150 to 100 megohms-cm will not be measured. Resistivity, however, is not linear, and the amount of residue it takes to drop the resistivity from 150 megohm-cm to 140 megohm-cm is much less than the amount of residue it takes to drop the resistivity from 50 megohm-cm to 40 megohm-cm. It has been argued that the amount of ionic residue it takes to drop the resistivity from the deadband to the visible range is insignificant in most cases. This argument would depend on surface area as well as the need for accuracy. To maintain accuracy, it is important that the operator of the cleanliness test equipment not leave the system in a clean/filter mode for an extended period of time. If the operator inadvertently deionized the solvent to a higher than normal level, the solvent should be artificially contaminated and then recleaned to an acceptable level.

Carbon dioxide can dissolve in water to form carbonic acid. This can weakly ionize into H^+ and HCO_3^- ions which can/will then affect ionic readings. The presence of this ionic build-up during a static extraction will contribute to the overall ionic reading. In most instances, such contributions will be small, representing only a relatively small error in the measured results. If, however, we are measuring a small sample in a large volume of extracting solution, the effective total micrograms of NaCl represented by the CO_2 build-up in solution will be divided by the smaller surface area of the sample giving rise to a larger relative error in the reading expressed as $\mu g/in^2$. Extractions which are made for longer times will also show higher CO_2 errors, since more CO_2 will dissolve in the longer period of exposure to the atmosphere. Testing indicated that the problem was not detectable for all of the static systems; and there did not appear to be any correlation for spray versus no spray, or spray

above immersion versus spray below immersion. The dynamic systems are continually deionizing the solvent, therefore removing the small amounts of CO_2 before it has a chance to accumulate a measurable amount. Further testing, however, would be required to fully characterize the effects of CO_2.

The temperature of the solvent used in ionic cleanliness test systems will increase but eventually stabilize over time in operation. This was true for all of the test equipment, even the systems without heating elements. Due to pumps moving the solvent and friction in the plumbing, solvent temperatures would typically increase in an unheated system 10 to 15° F from initial room temperature. Only the Icom 5000 and the Omegameter 600SMD could be run with the heaters in the "on" or "off" position. Both systems showed higher results when the solvent was heated. In addition, the heated systems when crossed with the solution volume, indicated that the volume variable was more significant.

Throughout all of the testing, there appeared to be a disagreement, or a separation, between the "dynamic" and the more popular "static" families of cleanliness test equipment. Additional testing, not outlined in the original test plan, showed that there appear to be limitations associated with the "static" process that hinder the ability of the solvent to ionize, and thus measure contamination.

Not surprisingly, the most significant variable that influenced the final result, when altered for both "in solution" and "test coupon" testing, was the residue quantity. When all of the 5 microgram data is compared to all of the 55 microgram data, the change is significant. The dynamic systems and the static systems were grouped separately and the dynamic systems measured a more significant change when going from 5 to 55 micrograms. Though grouped, the dynamic processes had a data spread of about 8 micrograms when measuring the 55 microgram concentration, and the static systems had a spread of about 15 micrograms. It can also be noted that the static systems read similar or higher than the dynamics at 5 micrograms, but then read lower at 55 micrograms.

The next most significant variable was the IPA effect. As the alcohol content in the solvent was increased from 70% to 80%, the results dropped. This too is not surprising, knowing that it is the water that ionizes the contamination and that the alcohol is there merely to dissolve the nonionic (rosin) material to get access to any trapped ionic contamination. The 70%

solution contains more water than the 80% solution, thereby giving this solution more ionizing capabilities. Again, there was a definite grouping associated with the static versus dynamic systems, and the dynamic systems seem to be most affected by the change in alcohol.

The effect of standoff height was not as great as anticipated for the static systems. The static systems were equally effective at removing contamination from under both standoffs; however, residue was being left under both standoff heights. Standoff height seemed to affect the dynamic systems more than the static systems, meaning that a larger percent of residue was removed from under the 9 mil standoff than that of the 3 mil standoff. Statistically, the only system that measured the channel depth as being significant was the Ionograph 500M. Temperature and sprays seem to enhance the solvent's ability to penetrate smaller areas (3 mils) and dissolve surface residues, but was not a significant variable at 9 mils.

In comparing weakly ionizable flux to strongly ionizable flux during "in solution" testing, three out of the four dynamic systems showed the variable to be insignificant, while the Ionograph 500SMD and all of the static systems showed that the variable was significant. Though the weakly ionizable and strongly ionizable fluxes appeared to be different from each other, the trends that occurred when changing other variables were similar. Once the fluxes were introduced to the test coupons and baked, however, a wide variance in the strongly ionizable flux data began to appear. Because of these wide variances, and also since the trends were similar to weakly ionizable flux during "in solution" testing, the Ionic Conductivity Task Group (ICTG) decided not to perform extensive coupon testing on the strongly ionizable flux. Though the variable was not found to be significant in the dynamic systems, all had a negative effect as the flux shifted from weak to strong, whereas in the static systems all measured a positive effect.

The volume effect was perhaps the most unusual observation made in this study. When the volume was increased during the "in solution" testing, the results also tended to increase. But for some reason, when the volume was increased during the board testing, the ionic results tended to drop. This trend was noted on most of the systems, and at this point, there is no explanation for this observance.

Volume influence has been noted and explained in previous studies conducted by Jack Brous of Alpha Metals. Originally, the extraction procedures

were developed for the measurement of ionic materials present in fully activated rosin flux residues. These ionic materials are usually strongly ionized salts such as amine hydrochlorides. It was shown that such materials give linear response with concentration.[1] If, however, we try to measure residues of materials which are weakly ionized, the response is extremely concentration-dependent. An extraction of a quantity of a weakly ionized material into a large volume of a water/alcohol mixture will, therefore, indicate a much greater ionic response than for the same amount of materials extracted in a smaller volume (higher concentration).[1,2] As we approach higher dilutions (larger volumes), the degree of ionization approaches 100% and the reading is more truly proportionately representative of amounts of extracted ionic material. Weakly ionized organic acids are typically found in water-soluble (OA type) fluxes and the low-solids "no-clean" flux types. Caution should be used, therefore, in applying these ionic extract techniques to these flux types.

It will be hard to answer the age old question "How clean is clean?" without attaching an analytical quantity to a certain level of reliability. Understanding the effect of the variables was the first step in determining whether existing equipment design accommodates that need. It is important to note that this equipment was never meant to be used for analytical purposes; instead, it was intended to be used for process control. Though there are variables that influence final ionic readings, these systems will detect equipment failures, materials handling and processing errors. For now, use this equipment consistently and routinely; most importantly, use it as the creators intended - as a process control tool.

INTRODUCTION

Many printed wiring assembly (PWA) failures that occur in the field can be attributed to manufacturing residues that were not properly removed. It is essential that the cleaning process be monitored to ensure proper removal of contaminants that may, when exposed to time, temperature, and humidity, lead to high defect rates.

The most common method for evaluating the cleanliness level of a PWA is a method called the Resistivity Of Solvent Extract (ROSE) test. The original procedure, developed in the early 1970s, used a laboratory squeeze bottle filled with a 75% isopropanol (IPA) and 25% deionized water solution to dissolve ionic contamination from the PWA into a beaker. The resistivity of the extract solution was then measured and assigned a value based on a sodium chloride (NaCl) standard. In the last 20 years, several manufacturers have developed and marketed equipment to perform this type of testing. During that time, radical changes have been made to the systems, such as the addition of solvent heaters, sprays and microprocessors. Recent studies have shown discrepancies among not only the different manufacturers, but also among different parameters such as solvent temperature and volume. To continue using this test to manage a process or to make decisions on what cleaning alternative works best, it became necessary to investigate what variables influence final results and standardize a test procedure.

The goal of this project is to give users of cleanliness test equipment a better understanding of ionic cleanliness testing. How much does solvent temperature influence the final cleanliness results? How critical is the 75% isopropanol to 25% water ratio? Is spraying the solvent important? Will today's systems remove contamination from under a component with a .005" standoff height? Is static or dynamic the more efficient or effective process? This project has explored these questions and has determined what variables most influence ionic cleanliness test results.

BACKGROUND

Residual contamination left on a printed wiring assembly (PWA) is generally classed into one of two categories: ionic or non-ionic. Ionic residues derived from plating salts, flux activators, and human perspiration, for example, have the ability to conduct electrical current. In the presence of moisture,

these residues can cause short circuits and corrosion of solder joints. Non-ionic residues, such as rosin, oil, or grease, act as insulators and do not conduct electricity. This type of residue can inhibit current flow across edge connectors or some other communications port. Fluxes used in the manufacturing process contain both ionic and non-ionic materials.

It is obvious that a "clean" PWA has a greater chance for reliability. In 1972, the Naval Air Warfare Center (NAWC) in Indianapolis (formerly Naval Avionics Facility Indianapolis) conducted a study to find a technique for evaluating how "clean" a PWA is after the manufacturing process.[3] Though the test measured ionic residues only, a good assessment of the cleaning process could still be made. The test procedure used a squeeze bottle filled with 75% isopropanol and 25% water solution with a minimum resistivity of 6 megohms-cm to rinse residue off a circuit board. The extract solution was funneled into a beaker until 10 milliliters per square inch of PWA surface area was collected and the resistivity was again measured. A minimum pass/fail limit was set at 2 megohm-cm, which was later interpreted into a sodium chloride equivalent and calculated in micrograms per square inch ($\mu g/in^2$) or per square centimeter ($\mu g/cm^2$) of board surface area. However, there were many unspecified parameters in the pioneer test, and different authorities calculated different results.

Once the test method and the pass/fail criteria were established, equipment manufacturers began designing and building systems to do this type of testing. Due to efficiency, or perhaps the slightly different measuring process, it was noted that the new equipment would typically give higher results than that of the beaker/funnel technique. In 1978, a second study was performed at NAWC[4] to establish "equivalency factors" for some of the new equipment which would be incorporated into various military standards, such as MIL-P-28809 and WS-6536. The theory behind the "equivalency factors" was that the same PWA that measured 10.06 $\mu g/in^2$ using the beaker/funnel test would have measured 14.00 $\mu g/in^2$ in a static system, and 20.00 $\mu g/in^2$ in a dynamic system under the conditions of the study. As the years progressed, more advances were made to the equipment such as the incorporation of solvent heaters, microprocessors, and sprays. As the efficiency of the systems increased, it became increasingly apparent that the equivalency factors established for the 1978 equipment did not apply to current equipment. In addition, equipment introduced to the market after the study are not mentioned, even in the revised standards, and erroneously not considered as accepted test equipment by potential users.

The problem was further complicated when Motorola documented that the temperature of the solvent significantly influenced the final result of a test[5]. An earlier study performed at DuPont[6] showed that solution temperatures could increase by as much as 14° F over the course of a work day, increasing the results by as much as 20%. One ionic cleanliness tester could give two different answers for the same PWA depending on the temperature of the solvent. Other studies with similar results led members of the Institute for Interconnecting and Packaging of Electronic Circuits (IPC) to form an Ionic Conductivity Task Group (ICTG) to investigate temperature and other variables involved with ionic test equipment.

Resistivity vs Conductivity

The ROSE test uses the solvent's ability to conduct electricity to determine how much ionic contamination is present. The ability to conduct electricity can be measured in either conductivity (siemens/cm or mhos/cm) or by its reciprocal, resistivity (ohms-cm). Pure water/IPA solvent is an extremely poor conductor of electricity, so the resistance is high and the conductance is low. Pure water conducts electricity slightly better, and is capable of showing a resistivity of about 19 megohm-cm or 0.0526 microsiemens/cm measured at 20°C. This is attributed to water's self-ionization enhanced by its own high polarity. As ionic contamination is removed from the PWA and passed to the solvent, the resistivity drops while the conductivity increases. It is the measurement of this enhanced electrical conductivity of water (or mixtures containing water) that is the basis of all ion extract conductivity testing being studied in this program.

If we examine the conductivity values for strongly ionized materials in an aqueous solution, we find that they are linearly proportional to the concentrations of the salt in solution as shown in Figure 1. However, a plot of the resistivity vs. sodium chloride concentration will yield a hyperbolic function as shown in Figure 2. This type of response curve has two major drawbacks for ionic measurement. First, the mathematical calculation of ionic differences becomes considerably more complicated when using the non-linear calculation of resistivity as compared to conductivity. Second, the sensitivity of the resistivity measurement, as represented by the slope of the curve, decreases significantly as concentration builds. This can be a particular problem in using the static method of extraction, since the final readings are taken after most of the ionic materials have been extracted and accumulated in solution. The

readings at maximum concentration are taken at the point where sensitivity of response (slope) is the least thereby limiting the ability of the system to detect small amounts of ions still being extracted from the sample.

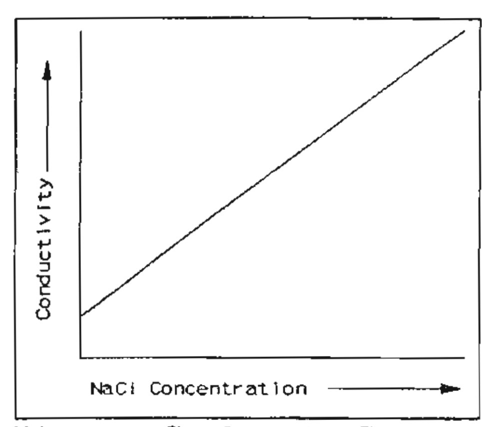


Figure 1 Conductivity Curve

In his original work in the early 70's, Tom Egan of Bell Laboratories very succinctly stated the case for using conductivity exclusively in measurements of extracted ionic contaminants.[7] This was later expanded by Jack Brous.[8] Most chemists prefer the use of the conductivity function over resistivity. Many engineers, on the other hand, use the resistance and resistivity value in areas related to water purity measurement. Though some of the cleanliness test equipment used in this study measure conductivity, most systems measure resistivity. For this reason, resistivity was chosen to describe changes in electrical current flow in this document.

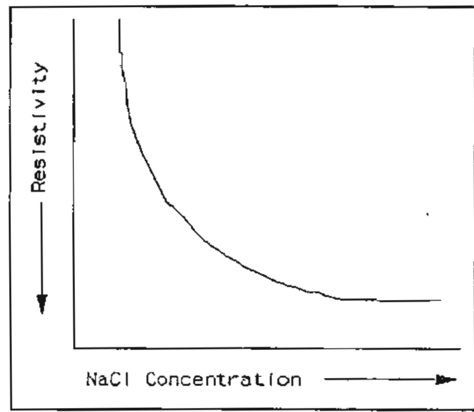


Figure 2 Resistivity Curve

Units of Measure

The EMPF and IPC acknowledge the fact that much of the world uses the metric system of measurement, therefore correlating contamination to micrograms per square centimeter ($\mu g/cm^2$) of surface area. However, for the purpose of this report, micrograms per square inch ($\mu g/in^2$) is a more accepted term in the United States. The formula for converting $\mu g/in^2$ into $\mu g/cm^2$ is as follows:

$$\mu g/in^2 \ \text{X} \ 0.1550 = \mu g/cm^2$$

TEST PROCEDURE

Objective

This project was **not** intended to select a "best system". This study used a statistically designed experiment to examine the different variables that are associated with ionic cleanliness test equipment and their effects on ionic measurement (see Appendix A). In addition, various concentrations of different flux types were used to measure how accurate each system was at detecting specific residues. Finally, stainless steel plates machined to yield known standoff heights were used to determine the efficiency of each system/variable at removing residue from tight spaces.

One of the primary goals established by the ICTG was to evaluate how the different system variables affect the removal of ionic residues from under known standoff heights. Our intent was to be able to determine that "System A", for example, with no heat and no sprays was 88% efficient at removing residue from under a 9 mil standoff, only 60% efficient at 6 mil standoff, and 30% efficient at 3 mil. This data could then be compared to "System B" with heat and sprays that was 100% efficient at 9 mil, 98% efficient at 6 mil, and 85% efficient at 3 mil standoffs.

A future target for this project may be to examine the validity of the equivalency factors assigned to some of the testers in various military standards. There is a need to correlate the newer, more efficient systems to somehow relate their results to other equipment as well as to the original beaker/funnel method, but how accurate are the equivalency factors? Have the factors changed over the years? How do equivalency factors and the overall pass/fail criteria relate to long-term reliability? These questions may be answered by determining which, and to what degree, variables influence the equivalency factors.

Equipment

Equipment vendors agreed to loan their ionic cleanliness test equipment to the EMPF for the duration of the study. All of the equipment used in this study is commercially available from Alpha Metals, Kester Solder, London Chemical, Protonique, Westek and Zero Systems. The equipment is classed into one of four categories; Static/ No Heat, Static/ With Heat, Dynamic/ No

TABLE 1 EQUIPMENT CLASSIFICATIONS					
COMPANY	MODEL	TYPE	HEAT	VOLUME CONTROL	SPRAY
Alpha Metals	Ionograph 500SMD	Dynamic	Yes	No	Yes
	Ionograph 500M	Dynamic	No	No	No
Zero Systems**	Zero Ion	Dynamic	No	No	Yes
Protonique*	Contaminometer CM-5	Dynamic	No	No	No
Alpha Metals	Omegameter 600SMD	Static	Yes	Yes	Yes
	Omegameter 600R	Static	No	Yes	No
Kester	Ionex 2000 System 100	Static	No	Yes	Yes
Protonique*	Contaminometer CM-5	Static	No	No	No
Westek	Icom 5000	Static	Yes	Yes	Yes

* Distributed in United States by Multicore Solder
** Distributed worldwide by London Chemical (Lonco)

Heat, Dynamic/ With Heat (see Table 1). The term "static" is really a misnomer in that static usually refers to something as being stagnant, or motionless. In this case, the term "static" refers to the fixed volume that is used for testing. In the clean/fill mode, the static system will deionize solvent from the reservoir and fill the test cell with a known volume (see Figure 3). While in the test mode, the static system will continually circulate solvent from the test cell, past a resistivity probe, then back into the test cell. Ionic residues are dissolved and distributed throughout a set volume, so the resistivity of the

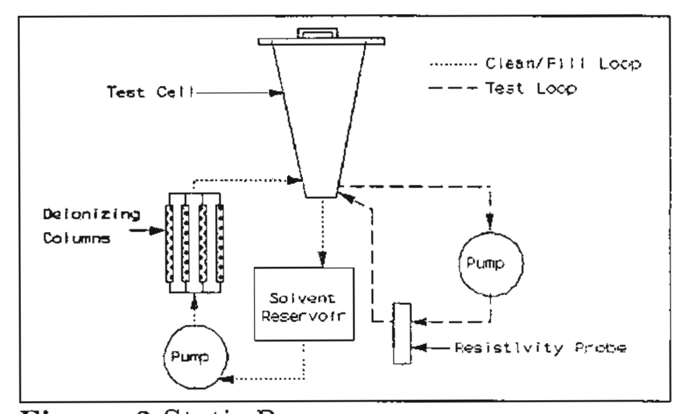


Figure 3 Static Process

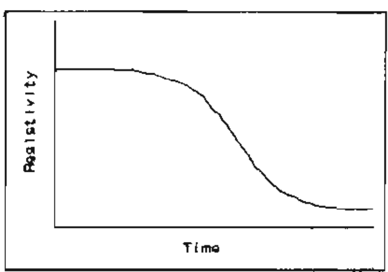


Figure 4 Static Curve

solvent will drop and then level off (see Figure 4). The final resistivity measurement is compared to the initial starting resistivity, and the change is correlated to the total ionic contamination. When testing is complete, the clean/fill loop is again used to clean, or regenerate, the solvent back to a high resistivity before starting the next test.

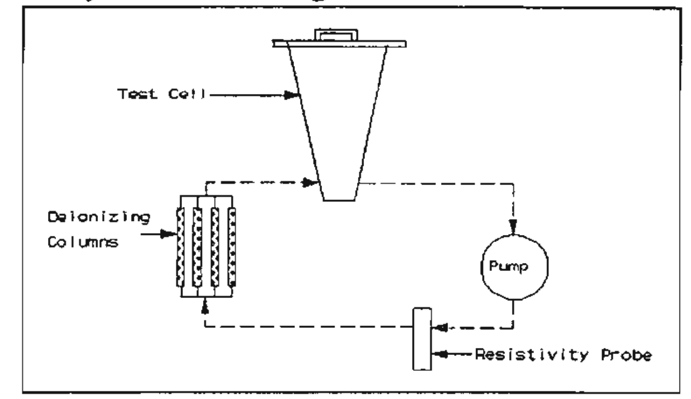


Figure 5 Dynamic Process

The "dynamic" process takes solvent from the test cell (see Figure 5), measures the resistivity, deionizes, then puts the solvent back into the test cell. Because contaminated solvent is being replaced with clean solvent, the volume is effectively infinite. The resistivity reading for the dynamic process starts at a high baseline, drops as the residue is removed, then returns to that baseline as the solvent is deionized (see Figure 6). The area under the curve is then related to the total ionic contamination.

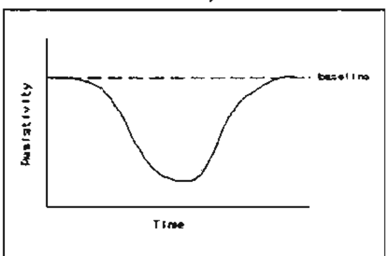


Figure 6 Dynamic Curve

Operation of the equipment was based upon standard operating conditions set by the manufacturers and some preliminary work done at the EMPF. Any changes to the operating procedures were recommended by either the manufacturer, or the EMPF, with final approval coming from the ICTG and the manufacturer.

Test Vehicle

The test vehicle used to determine the ability of a system to remove ionic contamination from under known standoff heights is pictured in Figures 7 and 8. The board (Figure 7) consisted of an FR4, epoxy/glass laminate with 0.5 ounce copper patterns. Other board materials were considered in

preliminary testing; however, FR4 was chosen as the standard. Stainless steel plates (Figure 8) were machined to yield a known standoff height of 0.003, 0.006, or 0.009 (+/- 0.0005) inch.

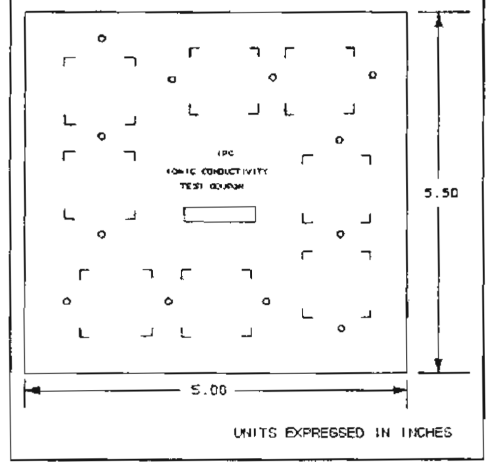


Figure 7 ICTG Test Board

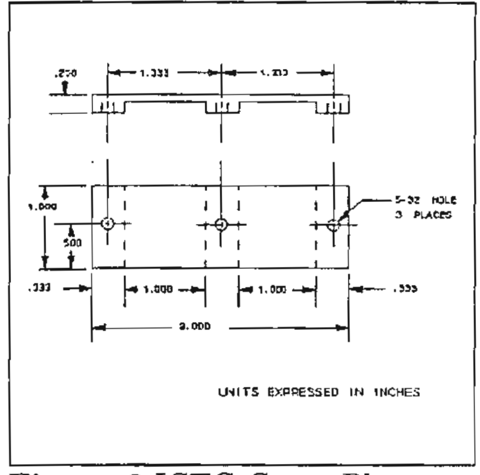


Figure 8 ICTG Cover Plate

Flux Types

The consensus of the ICTG was to exclude commercially available fluxes from this study since all fluxes dissociate and ionize differently based on their chemistries. There was considerable discussion concerning the ionizable source. Preliminary testing of specific synthetic contaminants was unsuccessful, and it was decided to use synthetic "fluxes". Two formulations of fluxes were used to represent the strongly ionizable and the weakly ionizable flux types in comparing the test equipment. A third contaminant was made from NaCl in IPA/water solution. The three formulations were as follows:

Strongly Ionizable "Flux":

60% Isopropyl Alcohol, technical grade
5% Diethylamine Hydrochloride
5% Malic Acid
5% Triton™ X100
15% Polyethylene Glycol 600
10% Deionized Water

Weakly Ionizable "Flux":	75% Isopropyl Alcohol, technical grade 20% Water White Rosin 5% Adipic Acid
NaCl Solution:	75% Isopropyl Alcohol, technical grade 25% Deionized Water 6 grams NaCl/liter

A microliter syringe was used to dispense the flux within the boundaries of the eight 1" x 1" squares printed on the board. Volume was kept constant at 5 microliters per 1 inch square (40 microliters total) throughout the testing. The concentration, however, was diluted with isopropanol to give three different contamination levels. The three levels defined were 5, 30 and 55 $\mu g/in^2$, which equates to 40, 240, and 440 total micrograms per board, respectively.

Variables

Again, this project was **not** intended to select a "best system". The test plan was statistically designed to best see the influences of each variable upon the final cleanliness results. An in-depth explanation of how the test was designed is given in Appendix A of this document. The equipment variables examined are given in Table 2 along with their high, medium, and low settings.

TABLE 2 EQUIPMENT VARIABLES

Variable	Low Setting	Center Point	High Setting	Units
Flux Residue	5	30	55	Micrograms per $Inch^2$
Alcohol Content	70	75	80	% Isopropanol
Solution Temperature	OFF	ON	ON	Degrees Fahrenheit
Solution Volume	33	66	100	% Test Cell Volume
Standoff Height	.003	.006	.009	Inches

The flux variable used three different quantities of each flux type. It was decided by the ICTG to keep the volume of flux dispensed onto the test coupon consistent, but dilute the stock solution three different ways to yield the 55, 30 and 5 $\mu g/in^2$ of NaCl equivalent specified in the test plan.

The alcohol content was calculated by measuring specific gravity and temperature of the test solution. The three settings used were 70, 75 and 80% alcohol, with the balance of each solution being deionized water.

Preliminary testing found that the temperature of the solvent used in all systems, even the non-heated, will increase due to pump temperature and friction in the plumbing. If a system had the capability of heating the solvent, this variable was either "ON" or "OFF". In either case, the solvent was allowed to reach equilibrium temperature prior to testing.

The dynamic systems do not use a fixed volume; therefore, volume was not a controlled variable to them. Since all of the static systems had different size tanks, it was not possible to specify three different volumes. Instead, a percentage of each system's total tank volume was set. This worked for all of the systems except for the Icom 5000, which uses a volume based on 10, 20 or 40 milliliters per square inch of board surface area. The minimum volume required to operate the Icom 5000, without cavitating the pumps, was 160 milliliters. So with an 8 square inch area, the system could only be run at 20 and 40 milliliters per square inch or 160 and 320 milliliters.

Standoff height was controlled using the stainless steel coupons described earlier in the "Test Vehicle" section of this document. Four stainless steel coupons, all with the same standoff, were mounted to the test board using stainless steel nuts and bolts. For consistency, all of the nuts used to hold the plates to the test boards were torqued to 5 inch/pounds.

INITIAL OBSERVATIONS

The intent of the study was to establish how accurate, reproducible, and effective each system was at removing residues from under known standoff heights and to determine how much each system variable would influence the final ionic results. In order to do this type of testing and draw legitimate conclusions, it was essential that all test assemblies had exactly the same quantity of residue to begin with, and it was necessary to know what that

amount was. This posed significant problems. A known volume of residue could be deposited onto the substrate using a microliter syringe, but what volume of "flux" does it take to make 440 micrograms of sodium chloride (NaCl) equivalent?

To investigate this, the Omegameter 600R was randomly selected. A NaCl standard was made so that 40 microliters would equal 80 micrograms of NaCl (10 $\mu g/in^2$ based on an 8 square inch area). A static system was selected because the plan was to clean the solvent to an acceptable resistivity, inject 40 microliters of solution directly into the test tank, and measure the change in resistivity. This change in resistivity would represent 80 micrograms of NaCl equivalent. The solvent in the system would be returned to the same starting resistivity, and the "flux" titrated into the test cell to that same ending resistivity. The volume of "flux" titrated would be 80 micrograms of NaCl equivalent.

The first measurements taken were lower than expected and not repeatable. Further research showed that the Omegameter 600R has what was termed a "deadband" (see Figure 9). The maximum measurement capability of the resistivity probe was only 60.35 megohms-cm, and though the solvent could be cleaned to a higher resistance level, the system would continue to read 60.35 megohms-cm. Although the starting resistivity read 60.35 megohms-cm, the actual starting resistivity of the solvent was much higher. Any ionic residues that lowered the resistance from this higher value to 60.35 megohms-cm was not being measured. This problem was not unique to the Omegameter 600R, but instead was typical for most of the equipment that was tested. Some exhibited this problem to a lesser degree than others; for example, the Zero Ion is capable of measuring resistances up to 245 megohms-cm, but even it has a deadband. Some systems avoid the deadband by using computer software to stop the circulation of the solvent once the resistivity reaches the upper range limit of the probe. The effect of the deadband is unsure on some of the systems since the starting resistivities are not always displayed. As mentioned

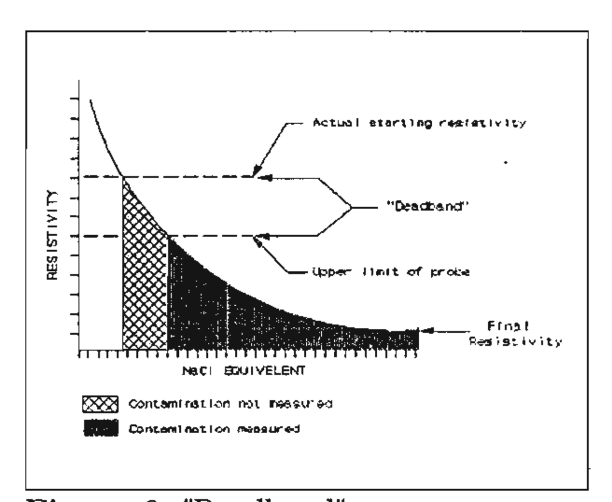


Figure 9 "Deadband"

earlier in this document, resistivity is not linear. The amount of residue it takes to drop the resistivity from 150 megohm-cm to 140 megohm-cm is much less than the amount of residue it takes to drop the resistivity from 50 megohm-cm to 40 megohm-cm. It has been argued that the amount of ionic residue it takes to drop the resistivity from the deadband to the visible range is insignificant in most cases. This argument would depend on surface area as well as the need for accuracy.

This problem was more noticeable in systems that use resistivity than those that use conductivity. But the deadband could influence the readings of all of the equipment if the operator was not careful or was not aware of the problem. It is important that the operator of the cleanliness test equipment not leave the system in a clean/filter mode for an extended period of time. If the operator inadvertently deionized the solvent to a higher than normal level, the solvent should be artificially contaminated and then recleaned to an acceptable level.

With the deadband understood, another series of tests were initiated on the Omegameter 600R using a resistivity less than 60.35 megohms-cm as a starting point. The readings were now slightly higher than the expected 10 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent. The first theory regarding the higher readings was that the IPA/water from the standard was contributing to the resistivity, therefore adding to the contamination. It was noted, however, that the results seemed to be volume dependent. Three different volumes were used in the test cell and the results averaged 12.5, 14.8, and 16.2 μ/in^2 NaCl equivalent. The Omegameter 600SMD was used to verify the results of the Omegameter 600R, and it was noted that volume did not influence the results; however, the results were nearly twice what they should have been (about 20 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent). A blank was run on the Omegameter 600R and the result was 0.0 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent. The blank for the Omegameter 600SMD was 20 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent and a subsequent run adding nothing to the test cell resulted in 20 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent. By examining the printout of the Omegameter 600SMD over three separate runs, the graphs showed that the results were 0.0 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent for the first minute of testing, but then jumped anywhere from 8 to 12 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent (see Figure 10). In addition, the graphs showed that the results slowly and steadily increased from that point throughout the duration of the test and leveled off at 20 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent. Three questions were raised:

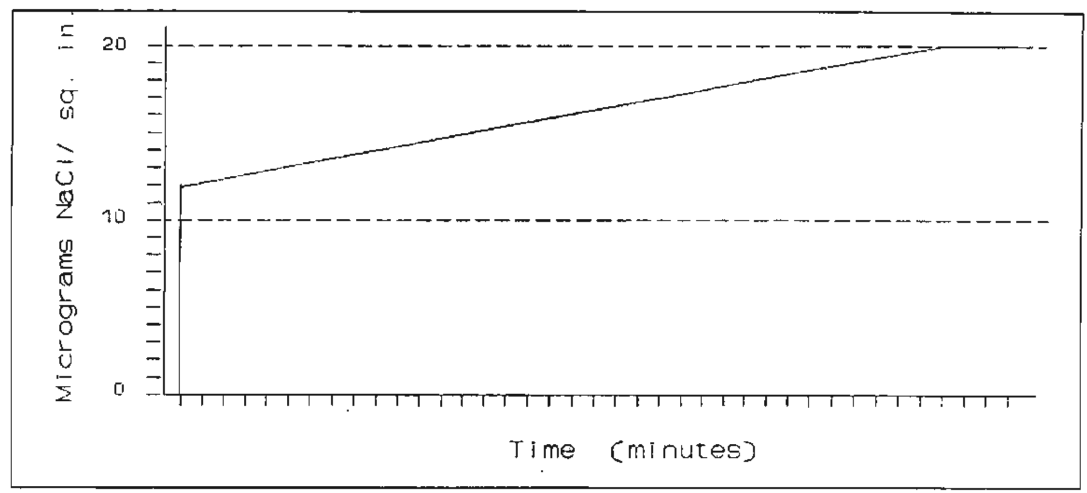


Figure 10 Carbon Dioxide Absorption

1. Why did the results gradually climb?
2. Why did the results jump at one minute?
3. Why did the climb stop at 20 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent?

The gradual climb addressed in the first question was theorized to be caused by carbon dioxide (CO_2) absorption. Carbon dioxide can dissolve in water to form carbonic acid. This can weakly ionize into H^+ and HCO_3^- ions which can/will affect ionic readings. The presence of this ionic build-up during a static extraction contributes to the overall ionic reading. In most instances, such contributions are small, representing only a relatively small error in the measured results. If, however, we are measuring a small sample in a large volume of extracting solution, the effective total micrograms of NaCl represented by the CO_2 build-up in solution are divided by the smaller surface area of the sample giving rise to a larger relative error in the reading expressed as $\mu g/in^2$. Extractions which are made for longer times will also show higher CO_2 errors since more CO_2 will dissolve in the longer period of exposure to the atmosphere.

To test this theory, nitrogen was fed into the Omegameter 600SMD test cell to form an inert atmosphere over the solvent/air interface. A second series of tests were initiated and the results showed that the gradual climb had been eliminated, indicating that CO_2 did indeed cause the climb. The jump at one minute, however, remained. The results jumped anywhere from 3.0 to 7.4 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent even though no contamination was being introduced

into the test cell. The jump was not consistent and after closer examination of the data, it appeared that the jump was dependent on the starting resistivity of the solvent; therefore, the answer to the second question is that, unlike the Omegameter 600R which subtracts the ending resistivity from the starting resistivity and calculates contamination based on that change, the Omegameter 600SMD measures the resistivity at one minute, subtracts that resistivity from an *assumed* starting resistivity (60.35 megohm-cm), then calculates the contamination based on that difference. To verify this theory, the actual solvent resistivity was adjusted to that assumed starting resistivity under a nitrogen blanket. Finally, a reading of 0.0 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent was obtained by adding nothing to the system.

The third question was answered when it was learned that the termination of the test is dependent on the range entered in the software at the start of the test. If the results of the test go higher than that range (in this case 20 $\mu g/ in^2$ NaCl equivalent), the test will terminate. So it was no coincidence that all of our NaCl standards and the blank all resulted in a reading of 20 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent. The CO_2 drove the reading up off scale and terminated the test at that point.

This test was repeated on all of the remaining systems to determine the effects of CO_2 absorption. Testing indicated that the problem was not detectable for all of the static systems, and there did not appear to be any correlation for spray versus no spray, or spray above immersion versus spray below immersion. The dynamic systems are continually deionizing the solvent, therefore removing the small amounts of CO_2 before it has a chance to accumulate a measurable amount. Further testing, however, would be required to fully characterize the effects of CO_2.

But if testing thus far has been accurate, why have these problems not been noticed before? As mentioned earlier, the surface area of the test vehicle was set at 8.0 square inches. This small surface area magnifies all of the little imperfections of all of the test equipment. For example, if the surface area of a PWA is 100 square inches and the change in resistivity correlates to 100 micrograms, the end result would be 1 $\mu g/in^2$. An accuracy tolerance of plus or minus 50 micrograms would change the end result only 0.5 $\mu g/in^2$. If that same change in resistivity was measured on a PWA with a surface area of 1 square inch, the resulting contamination reading would be 100 $\mu g/in^2$. Since a variance of plus or minus 50 micrograms significantly influences the final reading, any variable that influences the resistivity of the solvent (CO_2,

temperature, deadband, etc.) will be much more noticeable on PWAs with smaller surface areas.

Another observation made in the initial test setup was that the temperature of the solvent increased over time in operation. This was true for all of the test equipment, even the systems without heating elements. Due to pumps moving the solvent and friction in the plumbing, solvent temperatures would typically increase 10 to 15° F from initial room temperature. This correlates with the study performed at DuPont[6]. The original Ionex 2000, which has no heating elements and is classed as a non-heated system, increased the temperature of its solvent above 125° F in just over one hour. This issue was rectified by Kester so that the solvent temperature now stabilizes at about 110° F. Since temperature was one of the variables being investigated, it was necessary to investigate at what temperature each system was stable, and perform all testing at that point.

Once the deadband, CO_2, and temperature effects were identified, testing resumed with the sodium chloride standard. Using a microliter syringe with an accuracy of ±0.1 microliters, a 40 microliter sample containing 80 micrograms of sodium chloride was injected directly into each of the cleanliness testers. By entering a surface area of eight square inches, the final result should have been 10 $\mu g/in^2$ NaCl equivalent.

The results were still slightly higher than expected. A blank was run to see how much, if any, the IPA/water contributed to the final results. The sodium chloride standard, the blank, and the corrected final results are listed in Table 3.

The plan was to have three different quantities of both types of fluxes. Though the test plan specified 55, 30 and 5 $\mu g/in^2$ of NaCl equivalent, there was no way of knowing how much flux would be required to achieve these results. For example, if the flux sample was diluted so 40 microliters measured 55 $\mu g/in^2$ in one system, and a second system measured that same sample as 51 $\mu g/in^2$ and a third system measured 58 $\mu g/in^2$, there was no way of knowing which system was correct. A chemical titration could not be used since NaCl was not actually being measured. Since the measurement was based on a change in resistivity, there was no way of injecting a quantity of flux that represented a known change in resistivity. There was good correlation on all of the equipment when using NaCl, so one tester was randomly selected to aid in the dilution of the two fluxes.

TABLE 3 SODIUM CHLORIDE STANDARDS							
	Omegameter 600R	Omegameter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	Zero Ion	Ionograph 500M	Ionograph 500SMD
	11.2	11.6	13.7	11.15	11.70	12.84	11.91
	11.2	11.4	13.1	11.50	12.57	12.57	11.98
	11.3	11.6	13.4	11.15	12.03	12.50	12.11
	11.2	11.6	12.6	12.07	12.43	13.00	11.95
	11.4	11.6	13.59		12.61	12.51	11.91
standard average	11.27	11.56	13.28	11.47	12.26	12.68	11.97
	ISOPROPANOL BLANKS						
	0.3	0.2	1.4	1.00	0.82	0.73	0.41
	0.3	0.2	1.4	1.00	0.66	0.86	0.27
	0.3	0.3	1.4	1.00	0.80	0.80	0.29
	0.3	0.3	1.4	1.00	0.72	0.90	0.34
	0.4	0.4	1.4	1.00	0.68	0.92	0.23
blank average	0.32	0.28	1.40	1.00	0.74	0.84	0.31
correct average	10.95	11.28	11.88	10.47	11.52	11.84	11.66

Note: The Contaminometer was not available at the time of this testing.

The Zero Ion system was selected as a benchmark to determine how much each flux type had to be diluted to yield 55, 30 and 5 $\mu g/in^2$ of NaCl equivalent. The dilutions were then checked on all of the other systems to verify the Zero Ion results. At this point, it was noted that although the dynamic and static families were similar when measuring NaCl (see Table 3), there was a big difference between the two groups when measuring flux residues. Though the same sample type and volume was being injected into all of the test cells, members of the static family consistently gave lower results than those of the dynamic family. Two theories were presented, but it was decided to proceed with testing and stay with the Zero Ion dynamic system to aide with the dilutions. **This did not mean the dynamic systems were correct**, but instead allowed the test to proceed with a high ($\approx 55\ \mu g/in^2$), medium ($\approx 30\ \mu g/in^2$) and a low ($\approx 5\ \mu g/in^2$) quantity of flux.

The next hurdle came when it was observed that, although the flux "in solution" was fairly reproducible, the results became much lower and widely varied for the strongly ionizable flux once the build process was added. The original process selected to bake the flux onto the test vehicle was infrared (IR) reflow with a thermal profile similar to that of the IPC Chlorofluorocarbon

Alternative study. Test results with this thermal process proved to be inconsistent and lower than expected. A total of 40 microliters of strongly ionizable flux was deposited on each of ten different bare boards. The boards were reflowed on a Vitronics Infrared Reflow machine at identical thermal profiles, yet the results varied considerably. Further modifications to the thermal profile, including the addition of one and two prebake steps, found that the results were very dependent on time and temperature (see Table 4).

TABLE 4 IONIC CONTAMINATION VS TEMPERATURE			
PROCESS	AVERAGE TOTAL μGRAMS	RANGE	STANDARD DEVIATION
Wet Flux, Directly into Test Cell	2802.1	35.6	.0127
Wet Flux on Board, No Heat	2805.2	236.3	.0842
Flux on Board, 1 Hour at 45°C	2436.8	150.4	.0617
Flux on Board,1 Hour at 45°C, 1 Hour at 100°C	1607.0	426.5	.2654
Flux on Board, IR Reflow Only	471.1	309.0	.6559
Flux on Board,, 1 Hour at 45°C, IR Reflow	356.8	414.0	1.1603
Flux on Board, 1 Hour at 45°C, 1 Hour at 100°C, IR Reflow	279.8	107.8	.3853
Flux on Board, 2 Hours at 45°C, 2 Hours at 100°C, IR Reflow	0	0	0

Depending on how the flux is heated, results varied from 0 to 2800 total micrograms using the same ionic tester with the same variable settings.

Glass slides were then used as a test vehicle to evaluate the possibility that the porosity of the copper-clad, etched, FR4 laminate was contributing to the wide variances in results. Four systems were randomly selected and all variables were set at their center points. Each slide containing 40 microliters of flux was baked at 100° C for 1 hour and the test was repeated four times for each system. Table 5 shows a comparison between the strongly ionizable flux in solution versus after bake and the weakly ionizable flux in solution versus after bake. The results are an average reading in $\mu g/in^2$ NaCl equivalent for each system.

TABLE 5 STRONG FLUX IN SOLUTION vs GLASS SLIDE WEAK FLUX IN SOLUTION vs GLASS SLIDE				
	IONOGRAPH 500SMD	OMEGAMETER 600R	ICOM 5000	OMEGAMETER 600SMD
Strong Flux, In Solution	40.79	49.70	44.10	37.53
Strong Flux, On Glass Slide	13.31	4.17	12.18	0.2
Weak Flux, In Solution	59.22	29.93	12.32	28.70
Weak Flux, On Glass Slide	65.10	27.47	11.74	28.20

The data shows that the ionic results for the strongly ionizable flux changed significantly after baking, whereas the weakly ionizable flux stayed fairly consistent.

Testing thus far proved that temperature had a significant influence on the strongly ionizable flux. In addition, the standard deviation was much greater than with the weakly ionizable flux. Testing also showed that temperature did not significantly affect the weakly ionizable results compared to in solution results. An additional test was conducted to determine if other board substrates would affect the weakly ionizable flux data. The test was run using 1) original FR4 laminate, 2) FR4 with a solder mask, 3) alumina ceramic and 4) glass.

Table 6 shows that boards with a solder mask yield higher ionic contamination measured than the other substrates. Though the mask smoothed the surface topography, the mask itself leached ionic contamination. The other substrates were not significantly different. Testing of these materials proved that it was the thermal profile, and not the materials, that was causing the deviations.

After consulting with industry flux experts, consensus was that constituents of the strongly ionizable flux will volatilize, oxidize and polymerize to different degrees depending on a number of different variables. Though 40 microliters was dispensed on each board (5 microliters per square), each deposit has its own geometric shape (see Figure 11). A 5 microliter spot that spreads thin, as shown in example #1 of Figure 11, will completely volatilize and, if given enough time and/or temperature, will polymerize and become insoluble

TABLE 6 WEAKLY IONIZABLE FLUX vs SUBSTRATE vs IN SOLUTION				
SUBSTRATE	IONOGRAPH 500SMD	OMEGAMETER 600R	ICOM 5000	OMEGAMETER 600SMD
In Solution	59.22	29.93	12.32	28.70
Original FR4	70.16	22.37	12.64	24.32
FR4 with Solder Mask	101.40	30.97	18.98	44.57
Alumina Ceramic	66.54	18.57	11.73	26.50
Glass	65.10	27.47	11.74	28.20

in alcohol/water. On the other hand, a spot that does not spread, as shown in example #2, may polymerize a "shell" over the surface of the flux, and trap wet flux inside. Once this "shell" is dissolved, the rest of the flux would break down and ionize more easily.

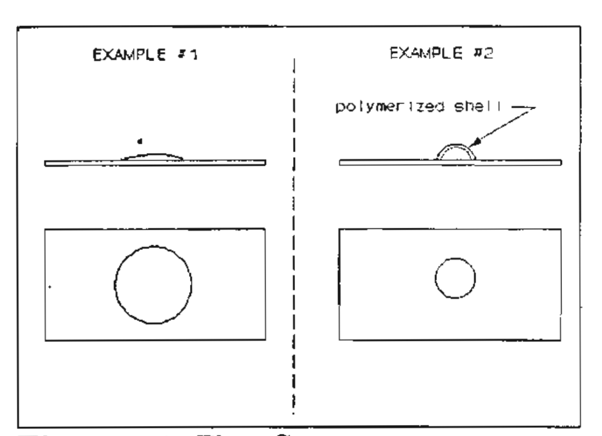


Figure 11 Flux Geometry

In addition to the physical geometry of the sample, the chemistry of flux changes when exposed to elevated temperatures, due to volatilization of the weak acids. These weak acids would normally contribute to ionic contamination readings when the flux is wet, but as these acids evaporate, the resulting NaCl equivalent is lowered. The degree to which this volatilization influences the final result is dependent on how thick the "shell" is and how quickly that "shell" is formed. These theories for the wide variances and lower than expected results were merely put forward as possible explanations and were not investigated any further.

Test Coupon Preparation

The process that seemed to be the most consistent, while still offering a removal challenge to the equipment, was to bake the coupons at 100° C (+/-5) for one hour. It was also found that a minimum cool time of 10 minutes and

a maximum of 1 hour was found to be optimum, which meant that the maximum number of boards that could be processed at one time was four. Much care was needed to assure that the board racks and the handling tongs were scrupulously clean and each part was handled with clean, powder-free gloves. It also took a very conscientious effort on the part of the technician to assure each coupon was prepared in the same manner.

PRESENTATION OF DATA

The first part of the results section will discuss the "in solution" general observations and trends which includes a table of effects and graphical analysis for all systems together. The data for each individual system will then be presented in the following order:

1) Raw data
2) Table of effects
3) Graphical analysis
4) Statistical analysis

The spreadsheet containing the raw data lists the randomized sequence that each variable was set per the test plan. Also listed on the spreadsheet is the actual result measured at each particular setting. This data was then analyzed and organized into a table of effects. The table examines all of the systems and determines the main effects and the interactions of each variable considered. To help give a better understanding of the effects, several graphs are given to show visually the effects and interactions. Finally, the statistical analysis gives more information on the data listed in the table of effects including the standard deviation, the t-ratio and a "p" value which is used to determine the rate of "chance". A low "p" value denotes a high confidence level and a low likelihood the result was obtained merely by chance. Also contained in the statistical analysis is an analysis of variance (ANOVA).

Once the "in solution" data is presented, the next section will discuss general observations and trends from testing with the coupon. The individual system data will then be presented in the same order stated above.

Statistical Design

Before presenting the test data, the reader must have a basic understanding of the statistically designed experiment. Appendix A contains an in-depth explanation of the experimental design and discusses the statistical tools used to display and interpret the data. Briefly, a main effect is the difference in output when a factor is changed from low level to high level. When the design is balanced, this is the average of all runs at the low level subtracted from the average of all runs at the high level of a factor. For example, the main effect graph for "RESIDUE" averages all data at 5 micrograms, irrelevant of the alcohol content, solvent volume, temperature, flux type and channel depth, and subtracts that average from the average of all data measured at 55 micrograms. The main effect data for "IPA" averages all data at 70% alcohol, irrelevant of the residue quantity, solvent volume, temperature, flux type and channel depth, and subtracts that average from the average of all data measured at 80% alcohol. In the hypothetical example given in Figure 12, the main effect for RESIDUE and IPA would be:

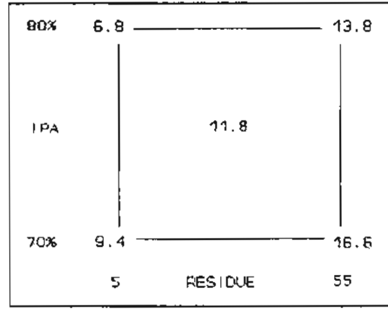


Figure 12
Simple Factorial Example

RESIDUE = (13.8+16.6)/2 - (6.8+9.4)/2 = 15.2 - 8.1 = 7.1
IPA = (6.8+13.8)/2 - (9.4+16.6)/2 = 10.3 - 13.0 = -2.7

The negative effect for IPA means that the response decreases as percent IPA is changed from low level (70%) to high level (80%). Main effects are also graphically presented by plotting the average response at each level (see Figure 13). The response at the center point is plotted on the same graph to visually check for curvature (non-linearity). In this case, each factor has a consistent effect, regardless of the level of the other factor. The effect of RESIDUE is 7.0 when IPA is at the high level (13.8 - 6.8) and it is 7.2 when IPA is at the low level (16.6 - 9.4).

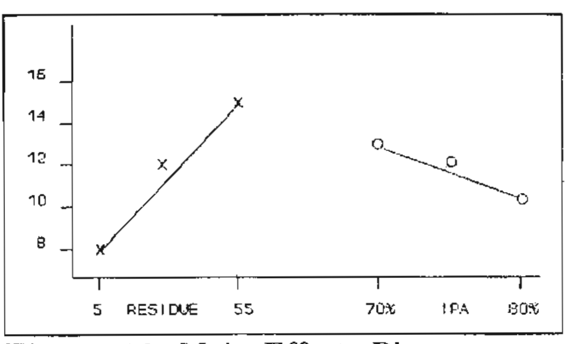


Figure 13 Main Effects Plot

Similarly, the effect of IPA is -2.8 when RESIDUE is at the high level and -2.6 when RESIDUE is at the low level. The effects of these factors are independent and there is no interaction.

When the effect of a factor is dependent on the level of one or more other factors, then an interaction exists. In this case, the effects of these factors cannot be interpreted separately. Consider the hypothetical example in Figure 14. The effect of HEAT is 10.6 when VOLUME is at the high level, but it is only 2.6 when VOLUME is at the low level. Similarly the effect of VOLUME is 3.4 when HEAT is at the high level, and it is in the opposite direction when HEAT is at the low level (-4.6). This is called a two-way interaction and the usual notation is with an asterisk (*) or H*V.

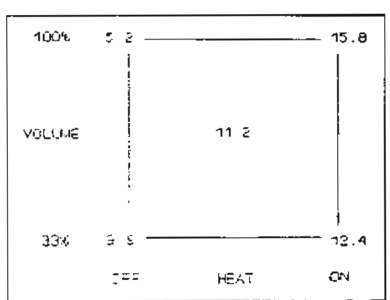


Figure 14 Example of an Interaction

The interaction effect is calculated by subtracting the effect of HEAT at the low level of VOLUME from the effect of HEAT at the high level of VOLUME and divided by two, which is $(10.6 - 2.6)/2 = 4.0$. Note that the same value is achieved using the effect of VOLUME at the two levels of HEAT $(3.4 - \{-4.6\})/2 = 4.0)$. Also note that the R*I interaction effect in the other example is only -0.1.

The calculated value for the effect of an interaction is used to determine whether the effect is significant, but it has little intuitive meaning. The best way to understand the effects is with an interaction plot (see Figure 15), which is simply graphing the effect of one factor at each level of the other. A difference in slopes is characteristic of an interaction. Parallel or near parallel lines indicate no interaction.

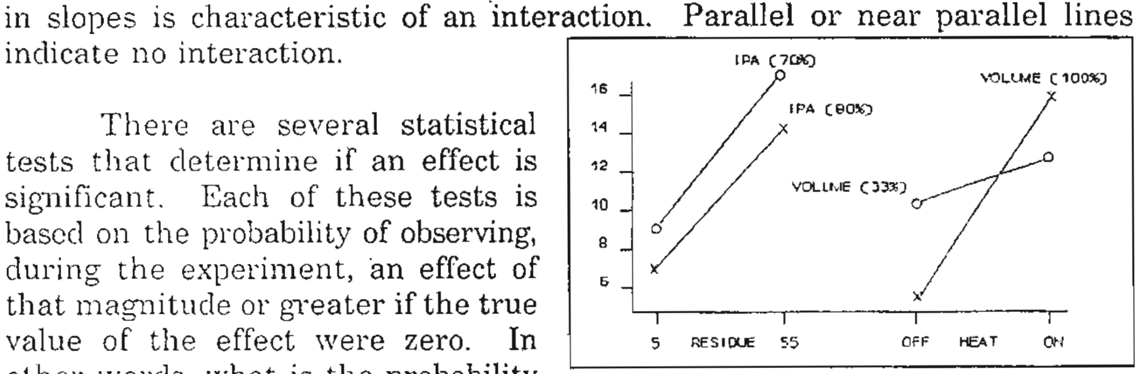


Figure 15 Interaction Plot

There are several statistical tests that determine if an effect is significant. Each of these tests is based on the probability of observing, during the experiment, an effect of that magnitude or greater if the true value of the effect were zero. In other words, what is the probability of observing an effect of that size just

by chance, completely due to experimental error? If that probability is low, then the "p-value" should be less than 0.05 (5%). If this is the case, it can also be said that there is 95% confidence that the effect is significant.

IPC-TR-583

"IN SOLUTION" TEST RESULTS

"IN SOLUTION" GENERAL TRENDS AND OBSERVATIONS

When in the dynamic mode, the Contaminometer CM-5 exhibited behavior outside that of all other dynamic systems and is not included in the discussions or conclusions in this report. After the data was analyzed and made available to Protonique, it was realized that an inappropriate model was sent to the EMPF for this study. The model delivered was engineered for larger (greater than 45 in^2) surface areas and was not sensitive enough for the small surface area that the test program required. Protonique requested that a more concentrated flux be used along with a larger surface area that equated to the same 55, 30 and 5 $\mu g/in^2$. The ICTG, however, decided that the test program could not be modified for one system without compromising the statistical design of the test. Time did not allow the manufacturer the opportunity to provide a different model.

The easiest way to determine the significance of a variable is to examine the slope of the lines on the graphs. The steeper the slope, the more significant the variable. The graph on page 34 shows the most significant variable, which, not surprisingly, is the residue effect. When all of the 5 microgram data is compared to all of the 55 microgram data, the change is significant. As mentioned earlier, these residues were **not necessarily** 5 and 55 micrograms. **Do not** look at the graphs and assume the Zero Ion system is correct and all of the others were incorrect to some degree. The Zero Ion system was randomly selected as a benchmark to aid in the dilutions of the flux standards. In reality, the Zero Ion may have been reading high, with actual standards of 3 and 45 micrograms or 2 and 28 micrograms. What can be derived from this graph, with the exception of the Contaminometer (dynamic), is that the dynamic systems and the static systems were grouped separately and the dynamic systems measured a more significant change when going from 5 to 55 micrograms. Though grouped, the dynamic processes had a data spread of about 8 micrograms when measuring the 55 microgram concentration, and the static systems had a spread of about 15 micrograms. It can also be noted that the static systems read similar or higher than the dynamics at 5 micrograms, but then read lower at 55 micrograms.

The next most significant variable was the IPA effect. As the alcohol content in the solvent was increased from 70% to 80%, the results dropped. This, too, is not surprising, knowing that it is the water that ionizes the contamination; the alcohol is there merely to dissolve the nonionic (rosin) material to get access to any trapped ionic contamination. The 70% solution

contains more water than the 80% solution, thereby giving this solution more ionizing capabilities. Again, there is a definite grouping associated with the static versus dynamic systems, and the dynamics seem to be most affected by the change in alcohol.

The flux effect was not statistically significant in three out of four of the dynamic systems, but it was significant in the Ionograph 500SMD and all of the static systems. In addition, it is interesting to note that the dynamic systems, though not all significant, had a negative effect as the flux shifted from weak to strong, whereas the static systems all measured a positive effect.

As we examine the interaction effect between the flux type variable and the IPA variable, it can be noted that the alcohol content affected the weak flux more than the strong flux on all of the systems. In fact, the measurements of the strong flux in the static systems were somewhat similar to the measurements made in the dynamic systems. It can also be noted that the weak flux tended to measure lower than the strong flux at both 70% and 80% IPA in the static systems. In the dynamic systems, however, strongly ionizable flux measured higher than weakly ionizable flux at 80% IPA, but lower than weakly ionizable flux at 70% IPA.

The final variable examined in the "in solution" test was solvent volume in the static systems. If the system was capable of heating the solvent, this test was conducted with the heat on. As stated earlier, the Icom 5000 does not use a tank volume, but instead, pumps a volume (10, 20 or 40 milliliters) per square inch of board surface area into the test cell. Since our surface area was only 8 square inches, 80 milliliters would have been the minimum (33%) setting. This volume was less than the minimum required to circulate the solvent. For this reason, the Icom 5000 was run at 360 milliliters (high or 100%), 160 milliliters (medium or 66%) and 160 milliliters (low or 33%). Most of the test results showed that as the volume of solvent contained in the test cell increased, so did the test results. Testing also found that the volume variable seemed to be more significant in the heated systems than the non-heated systems. The only exception to this trend was in the Ionex 2000. This system appeared to be able to compensate for the change in volume.

Figure 16 shows the ionic readings for each system when a standard sodium chloride solution was injected into each system's test chamber. The standard solution consisted of 240 micrograms sodium chloride, and the surface area used for the testing was 8 square inches. Ionic readings should be 30

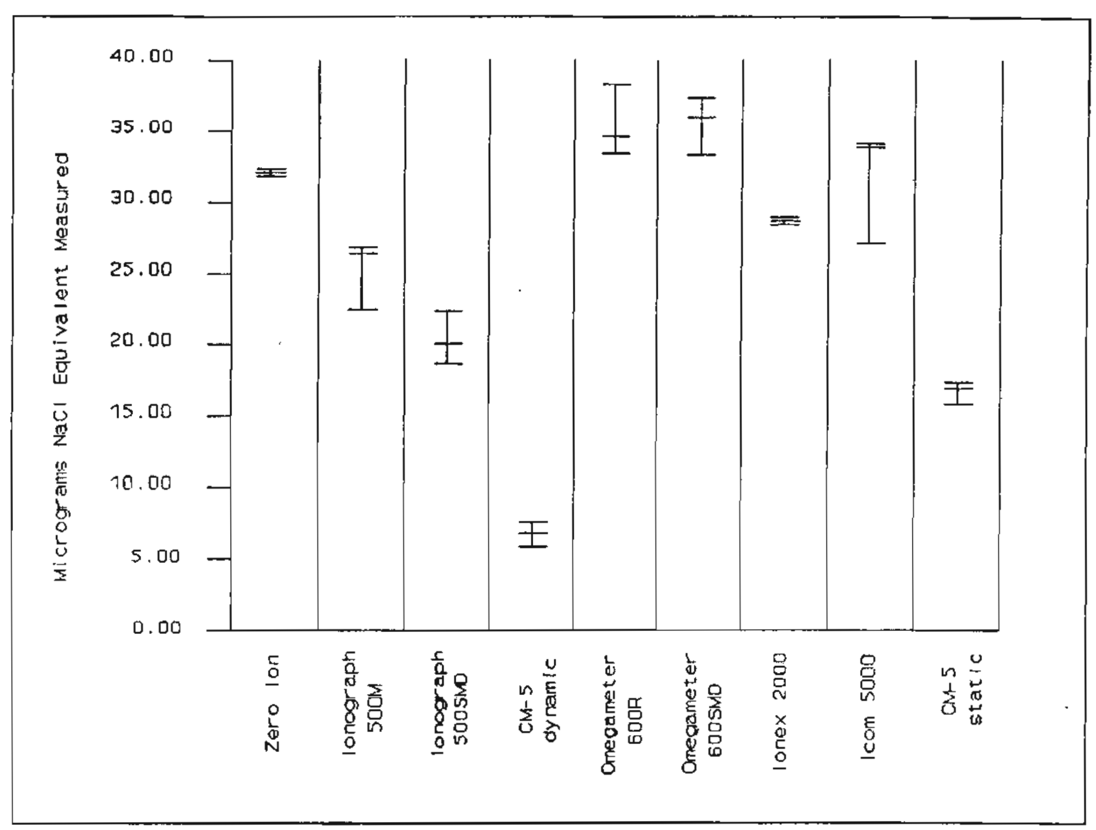


Figure 16 "In Solution" NaCl Measurements

$\mu g/in^2$ NaCl equivalent. Three separate readings were obtained for each system using the standard solution and the equipment operating at center point values (75% IPA, 66% volume). The graph in Figure 16 shows each of the three measurements (horizontal line) made for each piece of equipment and the spread between the high and the low (vertical line). As seen, readings varied from 16.8 to 38.4 $\mu g/in^2$. In addition, note the relative spread of the three data points, which varied system to system.

This raises questions regarding the accuracy associated with the current ionic conductivity/resistivity test methods and equipment. This is data for a <u>standard</u> solution of <u>sodium chloride</u>. One might expect such data for an assembly with flux residues, where differences in equipment variables such as operating temperatures and design (sprays, heat, etc...) would be expected to be strong influences; however, these results are for the solution which is used to "calibrate" the systems.

Accuracy problems are not usually noted when calibrating the systems during normal operation, so why are we seeing this behavior in this study? The amount of sodium chloride used for this evaluation was much smaller than that used industry-wide for calibration. A typical calibration uses 5 ml of a 750 μg/ml solution. This results in 3,750 micrograms total NaCl being added to the test chamber. In comparison to the 240 total micrograms NaCl used in this evaluation, the calibration concentration is much higher, and according to the equipment manufacturers, in a better area of the equipment's sensitivity/accuracy curve. The smaller amount of sodium chloride accentuates the inherent inaccuracy of the test method and equipment.

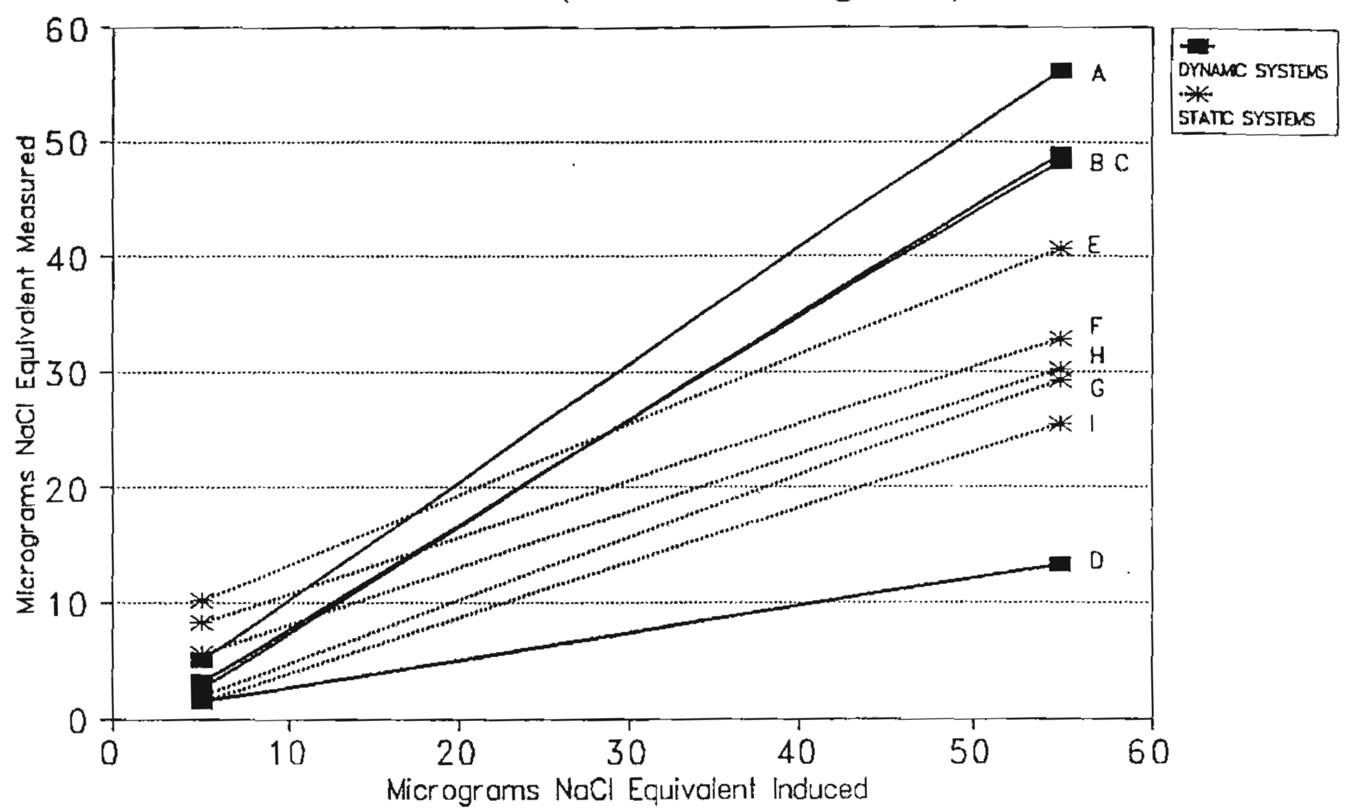
IPC-TR-583

TABLE OF EFFECTS
In Solution Testing

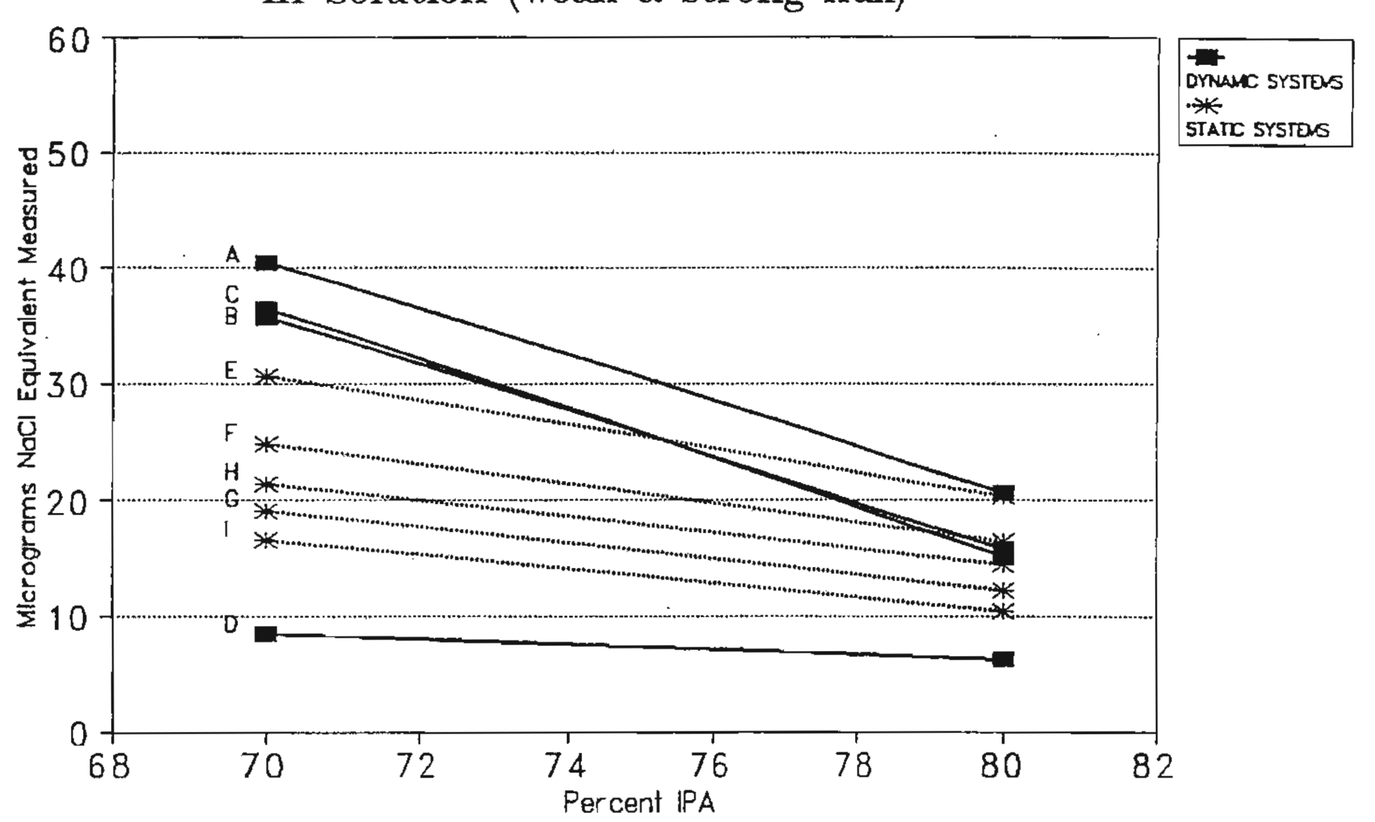
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN RESPONSE	30.89*	27.20*	26.38*	7.00*	25.33*	20.53*	16.10*	17.98*	13.75*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	51.18*	46.58*	47.26*	11.10*	30.57*	25.91*	28.31*	24.56*	24.11*
IPA (I)	-20.33*	-22.84*	-22.29*	-1.40	-10.0*	-7.60*	-7.85*	-7.19*	-6.69*
Flux (F)	-1.55	-1.49	-9.88*	2.23	10.07*	7.51*	18.46*	19.37*	5.16*
Volume (V)					4.7*	7.45*	-1.01	3.61*	
INTERACTIONS									
R*I	-14.13*	-15.18*	-18.48*	-1.00	-2.35*	-3.29	-6.86*	-3.29*	-4.28*
R*F	0.65	0.70	-8.55*	2.63*	8.07*	3.78*	16.15*	16.47*	4.84*
R*V					1.55*	3.89*	0.72	6.56*	
I*F	11.00*	10.52*	10.28*	1.48	5.75*	2.79	1.63	0.74	2.42*
I*V					1.77*	-1.63	-0.04	-2.88*	
F*V					-0.85	-2.16	-1.60	5.24*	
R*I*F	8.00*	8.06*	8.83*	0.98	5.15*	4.15*	1.05	0.10	1.77
R*I*V					-0.52	-1.39	-1.05	-1.89*	
R*F*V					-1.0	0.38	-1.04	5.35*	
I*F*V					0.87	2.49	0.90	-2.65*	
R*I*F*V					0.12	-0.33	1.04	-2.22*	
CENTER POINT	1.74*	5.42	-0.64	4.48*	2.91	2.00	-0.15	2.22*	1.41

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

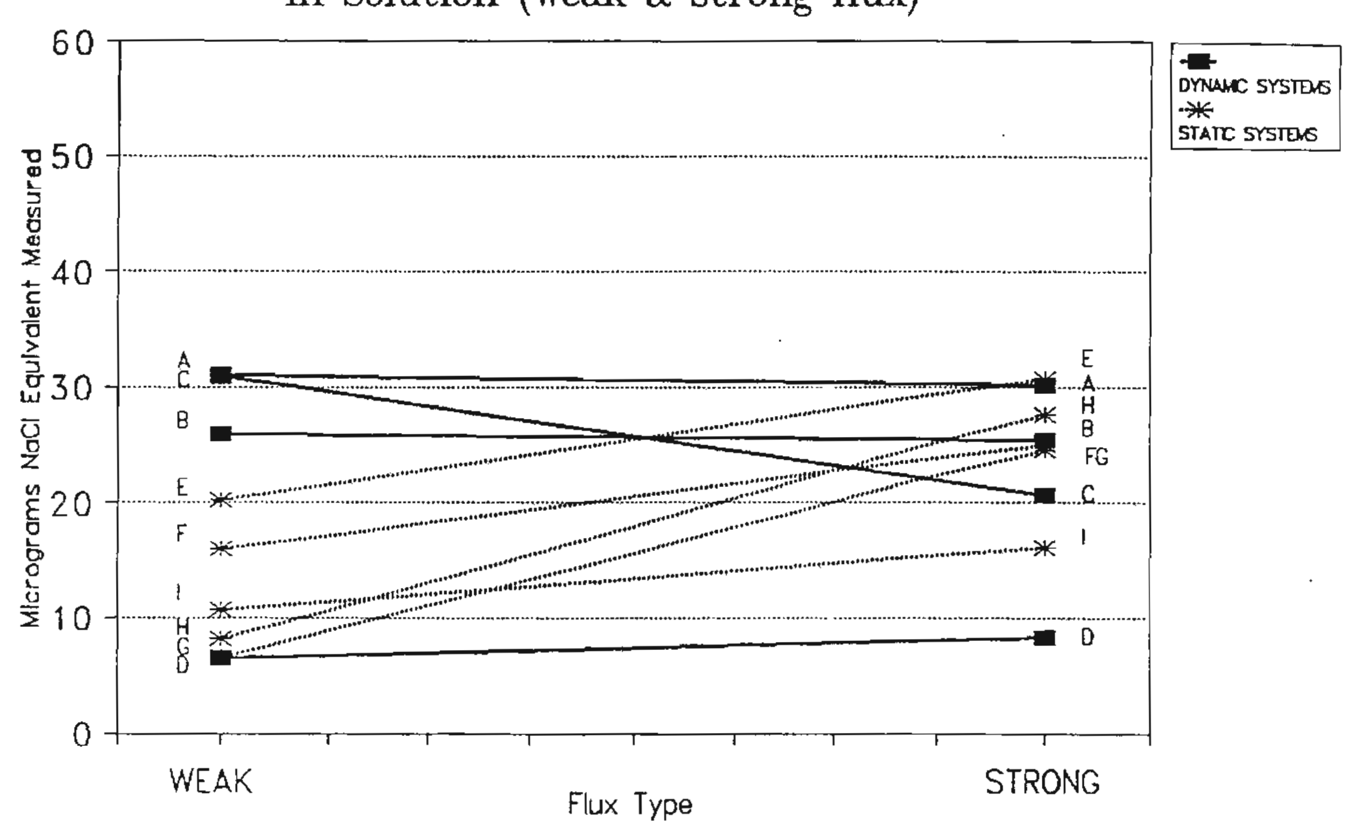
177



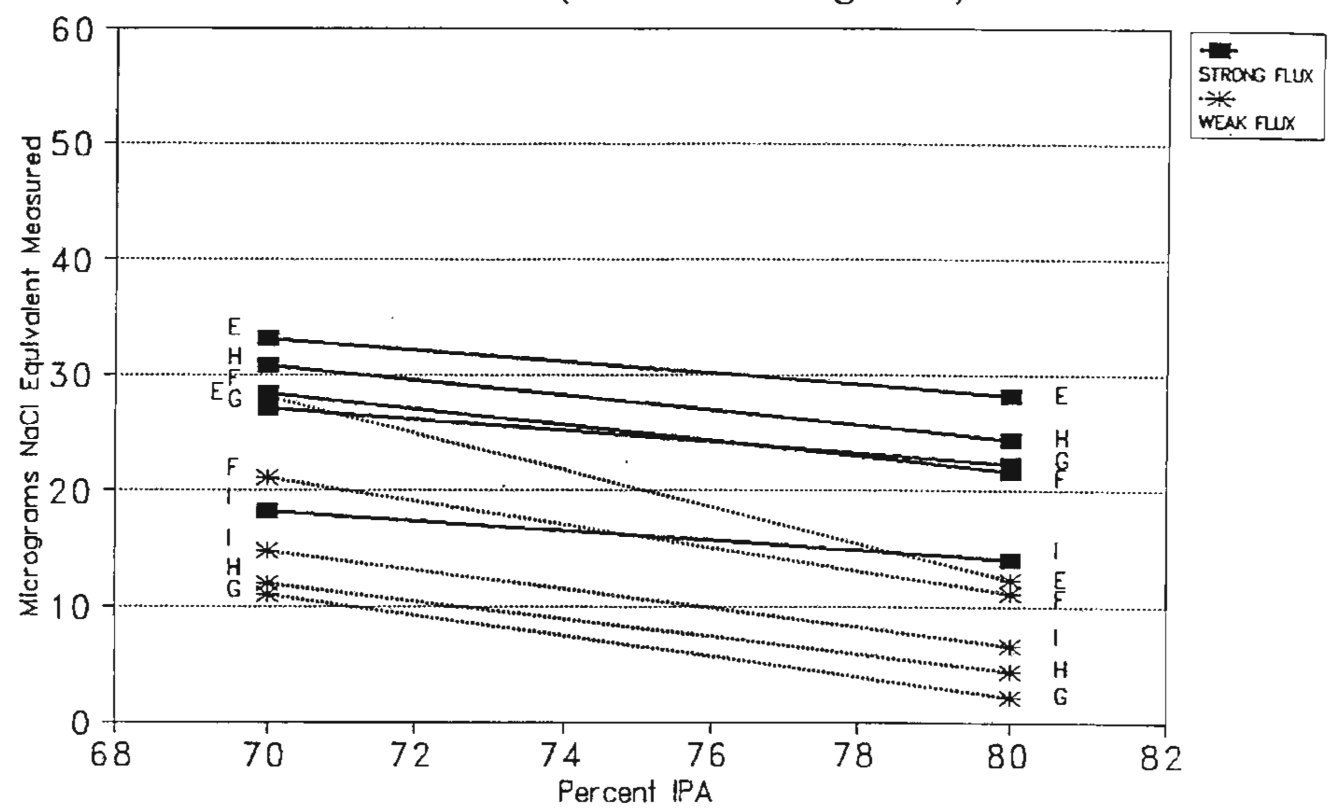
A = Zero Ion
B = Ionograph 500M
C = Ionograph 500SMD
D = Contaminometer CM-5
E = Omegameter 600R
F = Omegameter 600SMD
G = Ionex 2000
H = Icom 5000
I = Contaminometer CM-5



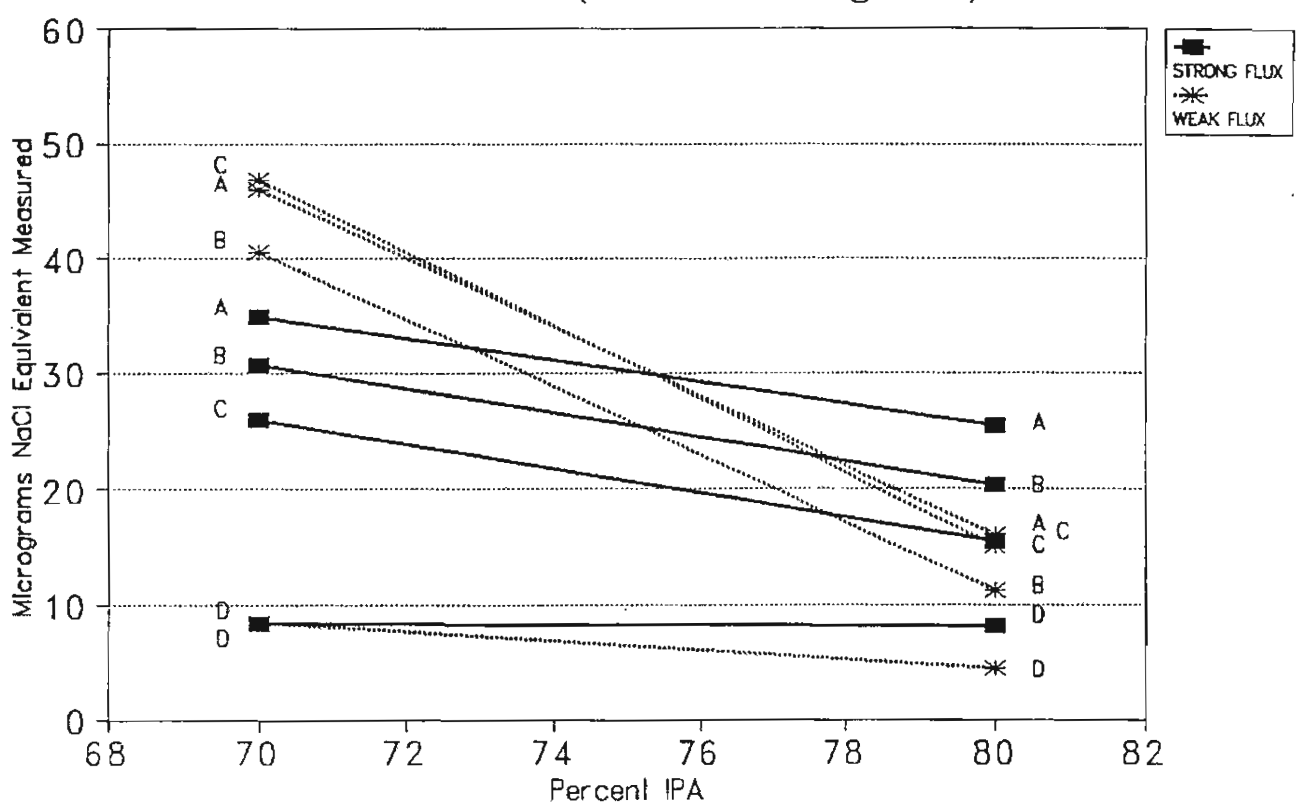
A = Zero Ion
B = Ionograph 500M
C = Ionograph 500SMD
D = Contaminometer CM-5
E = Omegameter 600R
F = Omegameter 600SMD
G = Ionex 2000
H = Icom 5000
I = Contaminometer CM-5



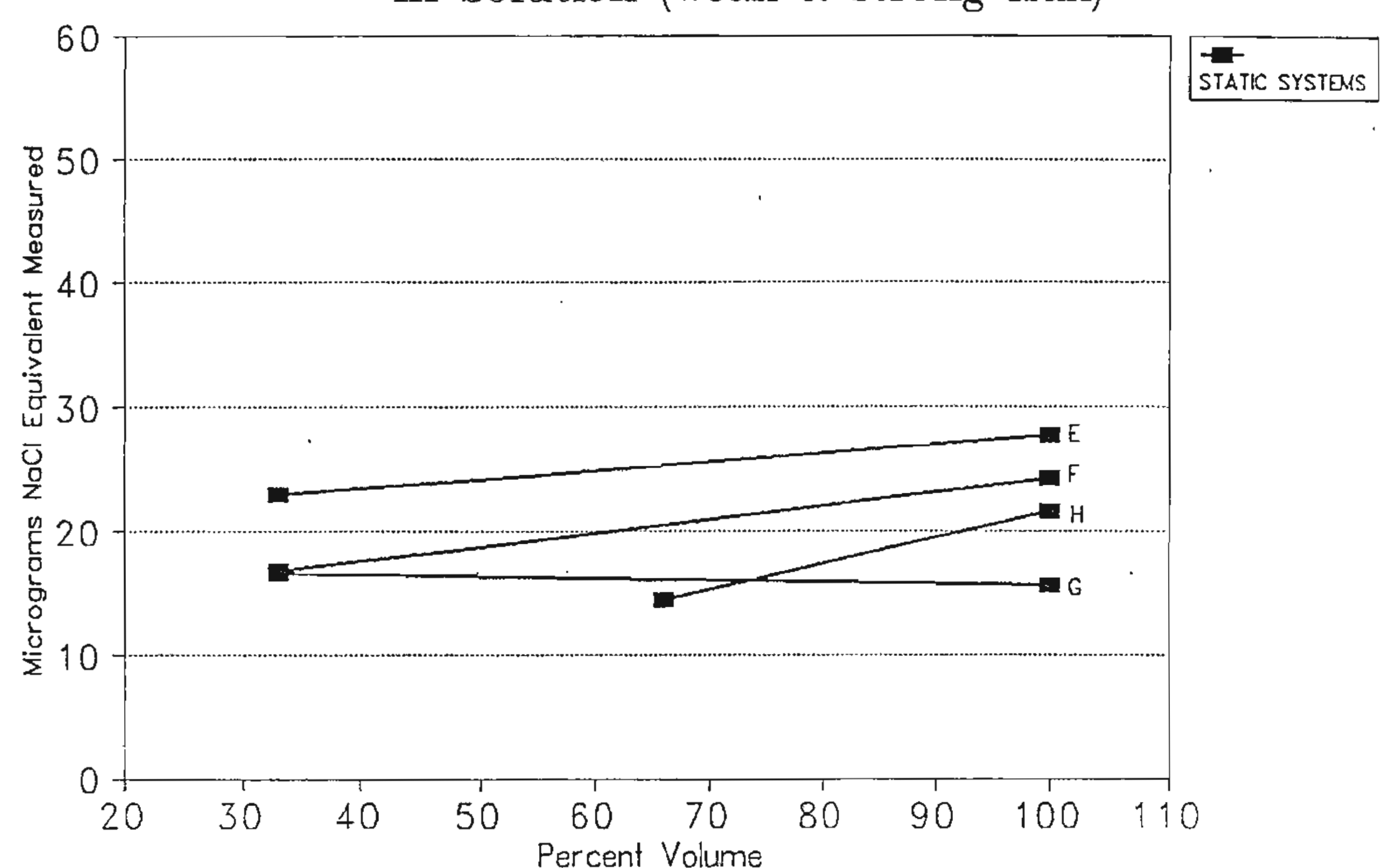
A = Zero Ion
B = Ionograph 500M
C = Ionograph 500SMD
D = Contaminometer CM-5
E = Omegameter 600R
F = Omegameter 600SMD
G = Ionex 2000
H = Icom 5000
I = Contaminometer CM-5



A = Zero Ion
B = Ionograph 500M
C = Ionograph 500SMD
D = Contaminometer CM-5
E = Omegameter 600R
F = Omegameter 600SMD
G = Ionex 2000
H = Icom 5000
I = Contaminometer CM-5



A = Zero Ion
B = Ionograph 500M
C = Ionograph 500SMD
D = Contaminometer CM-5
E = Omegameter 600R
F = Omegameter 600SMD
G = Ionex 2000
H = Icom 5000
I = Contaminometer CM-5



A = Zero Ion
B = Ionograph 500M
C = Ionograph 500SMD
D = Contaminometer CM-5
E = Omegameter 600R
F = Omegameter 600SMD
G = Ionex 2000
H = Icom 5000
I = Contaminometer CM-5

IPC-TR-583

LONDON CHEMICAL

ZERO ION

Dynamic
Unheated
Spray below immersion

ZERO ION SYSTEM
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
"IN SOLUTION" TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C	A AMOUNT OF RESIDUE ($\mu GR/IN^2$)	B IPA (VOL%)	C FLUX TYPE	IONIC READING	TEST DURATION	TEST CELL TEMP.
BLANK		BLANK	BLANK			0.0	0:14	88°F
1	5	- - +	5	70	STRONG	6.4	1:14	87°F
2	2	+ - -	55	70	WEAK	82.5	4:34	88°F
3	1	- - -	5	70	WEAK	9.6	1:30	88°F
4	6	+ - +	55	70	STRONG	63.7	3:39	89°F
5		0 0 -	30	75	WEAK	36.7	2:49	88°F
6	11	0 0 0	30	75	NaCl	32.0	2:29	88°F
7		0 0 +	30	75	STRONG	28.9	2:16	88°F
8	9	0 0 0	30	75	NaCl	32.2	2:24	88°F
9		0 0 -	30	75	WEAK	36.5	2:47	88°F
10	10	0 0 0	30	75	NaCl	32.4	2:24	88°F
11		0 0 +	30	75	STRONG	28.4	2:16	88°F
12	3	- + -	5	80	WEAK	1.8	0:35	87°F
13	7	- + +	5	80	STRONG	2.6	0:37	87°F
14	8	+ + +	55	80	STRONG	48.3	2:37	87°F
15	4	+ + -	55	80	WEAK	30.2	2:19	87°F
16	5	- - +	5	70	STRONG	5.2	1:20	91°F
17	2	+ - -	55	70	WEAK	84.8	4:43	91°F
18	1	- - -	5	70	WEAK	12.4	1:48	91°F
19	6	+ - +	55	70	STRONG	63.8	3:52	91°F
BLANK		BLANK	BLANK			0.0	0:15	91°F

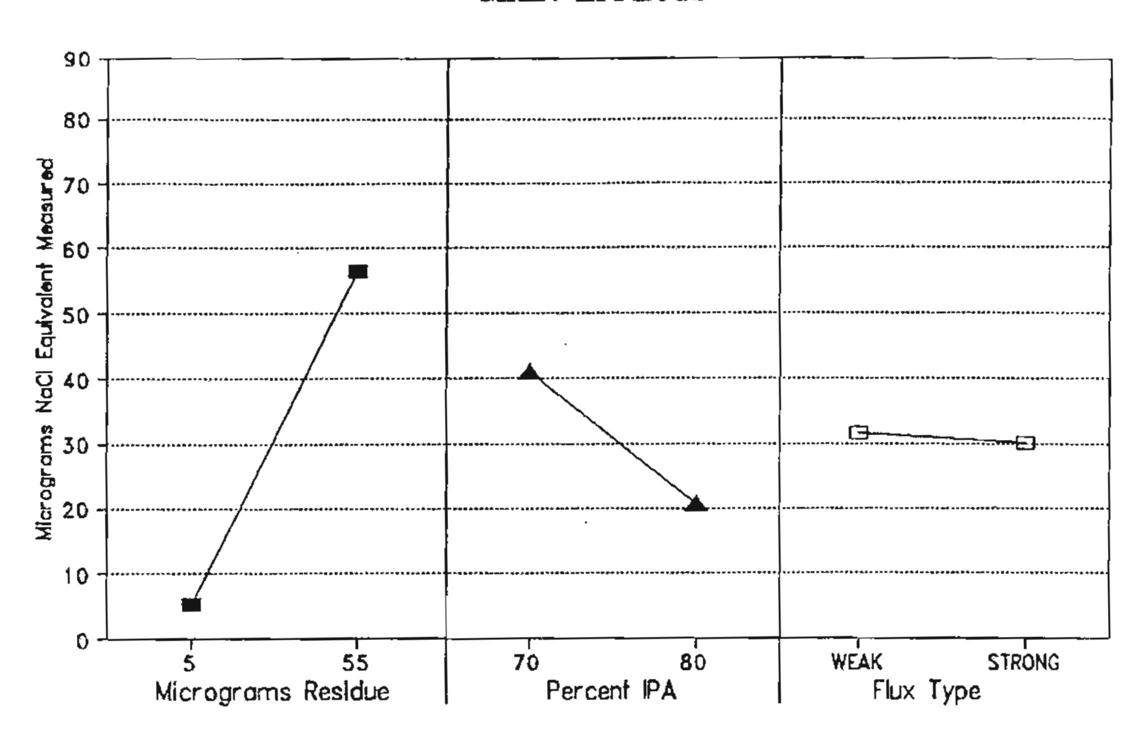
TABLE OF EFFECTS
In Solution Testing

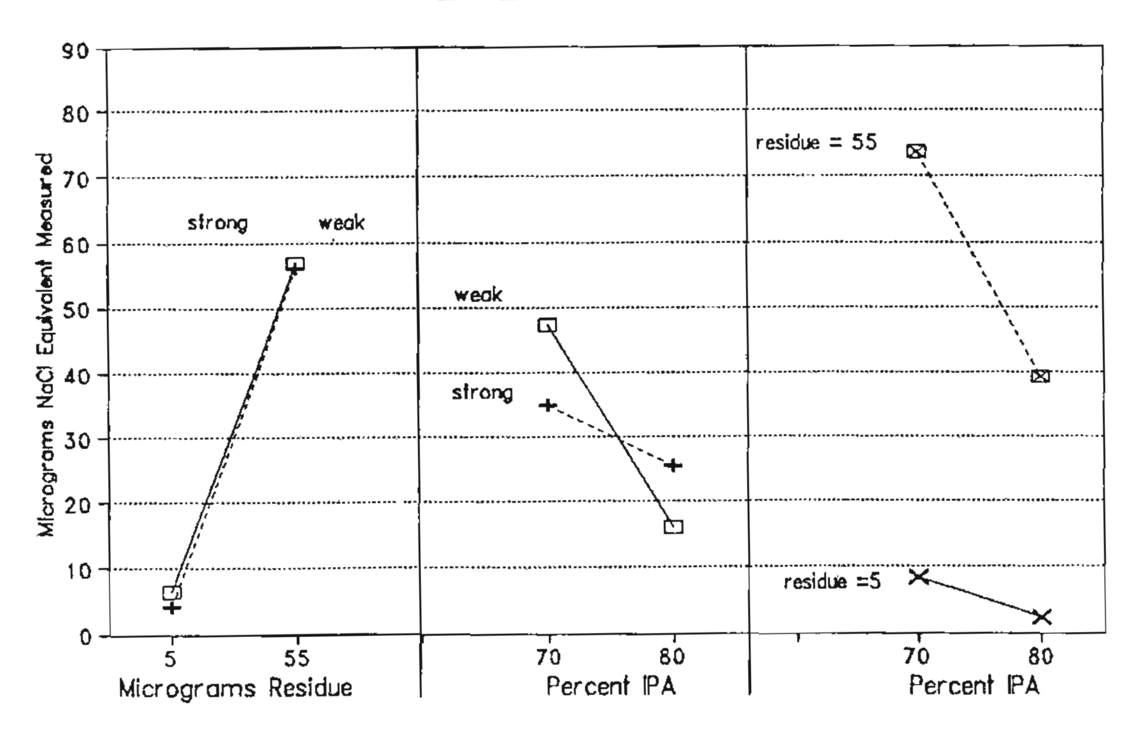
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN RESPONSE	30.89*	27.20*	26.38*	7.00*	25.33*	20.53*	16.10*	17.98*	13.75*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	51.18*	46.58*	47.26*	11.10*	30.57*	25.91*	28.31*	24.56*	24.11*
IPA (I)	-20.33*	-22.84*	-22.29*	-1.40	-10.0*	-7.60*	-7.85*	-7.19*	-6.69*
Flux (F)	-1.55	-1.49	-9.88*	2.23	10.07*	7.51*	18.46*	19.37*	5.16*
Volume (V)					4.7*	7.45*	-1.01	3.61*	
INTERACTIONS									
R*I	-14.13*	-15.18*	-18.48*	-1.00	-2.35*	-3.29	-6.86*	-3.29*	-4.28*
R*F	0.65	0.70	-8.55*	2.63*	8.07*	3.78*	16.15*	16.47*	4.84*
R*V					1.55*	3.89*	0.72	6.56*	
I*F	11.00*	10.52*	10.28*	1.48	5.75*	2.79	1.63	0.74	2.42*
I*V					1.77*	-1.63	-0.04	-2.88*	
F*V					-0.85	-2.16	-1.60	5.24*	
R*I*F	8.00*	8.06*	8.83*	0.98	5.15*	4.15*	1.05	0.10	1.77
R*I*V					-0.52	-1.39	-1.05	-1.89*	
R*F*V					-1.0	0.38	-1.04	5.35*	
I*F*V					0.87	2.49	0.90	-2.65*	
R*I*F*V					0.12	-0.33	1.04	-2.22*	
CENTER POINT	1.74*	5.42	-0.64	4.48*	2.91	2.00	-0.15	2.22*	1.41

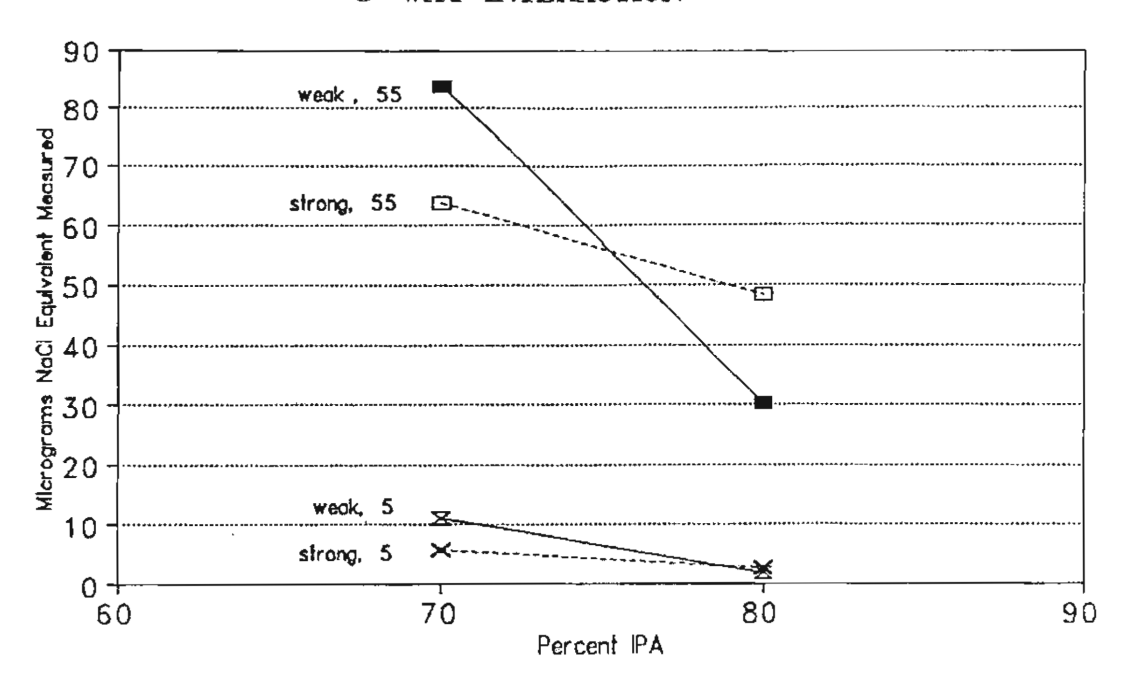
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

IPC-TR-583

186


ZERO ION
MAIN EFFECTS
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
WEAK
STRONG
Flux Type


ZERO ION
2-WAY INTERACTIONS
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
strong
weak
5
55
Micrograms Residue
weak
strong
70
80
Percent IPA
residue = 55
residue =5
70
80
Percent IPA



ZERO ION
3-WAY INTERACTION
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
weak , 55
strong, 55
weak, 5
strong, 5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
60
70
80
90

ZERO ION
IN SOLUTION TEST

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	30.8875	0.3408	90.62	0.000	*
R	25.5875	0.3408	75.07	0.000	*
I	-10.1625	0.3408	-29.82	0.000	*
F	-0.7750	0.3408	-2.27	0.063	
R*I	-7.0625	0.3408	-20.72	0.000	*
R*F	0.3250	0.3408	0.95	0.377	
I*F	5.5000	0.3408	16.14	0.000	*
R*I*F	4.0000	0.3408	11.74	0.000	*
CTR.PT	1.7375	0.6527	2.66	0.037	*
CTR*F	-3.2000	0.6527	-4.90	0.003	*

s = 1.113 R-sq = 99.9% R-sq(adj) = 99.8%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	9	11661.0	1295.7	1045.60	0.000
Error	6	7.4	1.2		
Total	15	11668.5			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	9368.8
I	1	1101.0
F	1	139.2
R*I	1	532.0
R*F	1	12.2
I*F	1	298.5
R*I*F	1	170.7
CTR.PT	1	8.8
CTR*F	1	29.8

IPC-TR-583

ALPHA METALS

IONOGRAPH 500M

Dynamic
Unheated
Spray below immersion

IONOGRAPH 500M
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
"IN SOLUTION" TESTS

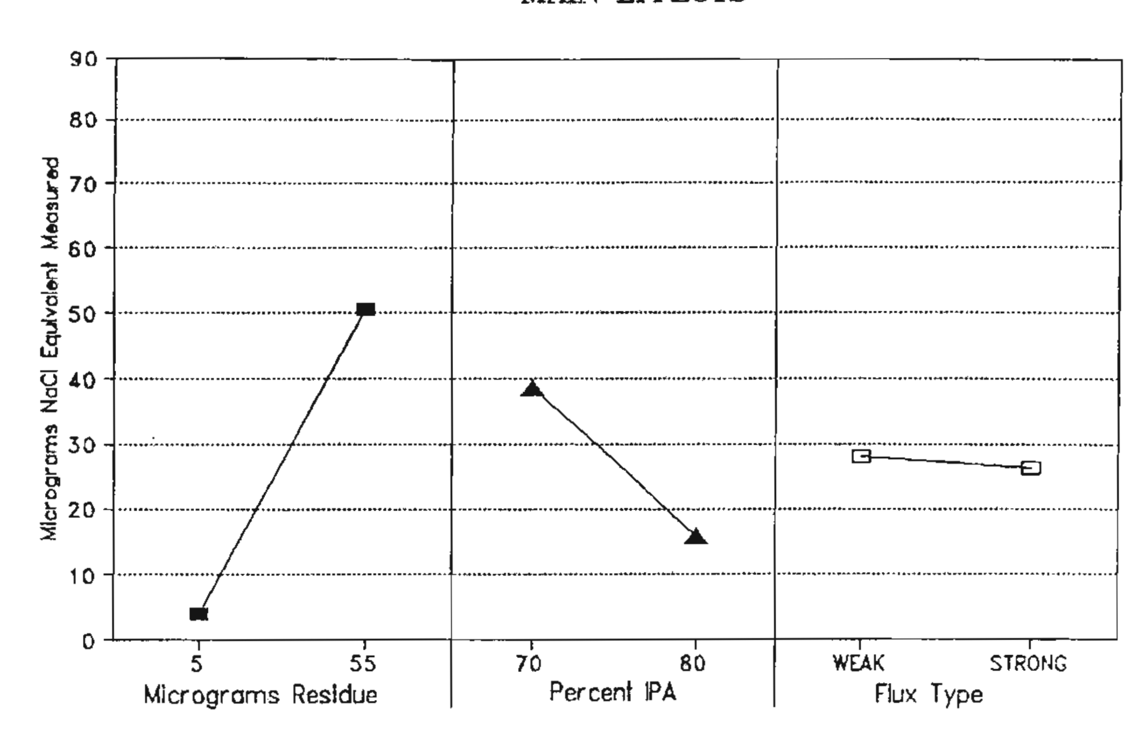
RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C	A AMOUNT OF RESIDUE (μGR/IN^2)	B IPA (VOL%)	C FLUX TYPE	IONIC READING	TEST DURATION	TEST CELL TEMP.
1	5	- - +	5	70	STRONG	4.64	2:00	33.2°C
2	1	- - -	5	70	WEAK	6.72	2:00	33.2°C
3	6	+ - +	55	70	STRONG	56.83	6:00	33.2°C
4	2	+ - -	55	70	WEAK	74.58	6:00	33.4°C
5		0 0 +	30	75	STRONG	23.29	4:00	34.8°C
6	9	0 0 0	30	75	NaCl	22.54	4:00	34.8°C
7		0 0 -	30	75	WEAK	34.23	6:00	34.7°C
8	10	0 0 0	30	75	NaCl	26.12	4:00	34.7°C
9		0 0 +	30	75	STRONG	22.32	4:00	34.7°C
10	11	0 0 0	30	75	NaCl	26.93	4:00	34.7°C
11		0 0 -	30	75	WEAK	32.71	6:00	34.7°C
12	7	- + +	5	80	STRONG	0.72	2:00	35.0°C
13	8	+ + +	55	80	STRONG	39.88	4:00	34.9°C
14	4	+ + -	55	80	WEAK	22.09	4:00	34.9°C
15	3	- + -	5	80	WEAK	0.45	2:00	34.9°C
16	5	- - +	5	70	STRONG	6.63	2:00	34.0°C
17	1	- - -	5	70	WEAK	6.76	2:00	34.0°C
18	6	+ - +	55	70	STRONG	54.39	6:00	34.1°C
19	2	+ - -	55	70	WEAK	87.53	8:00	34.0°C

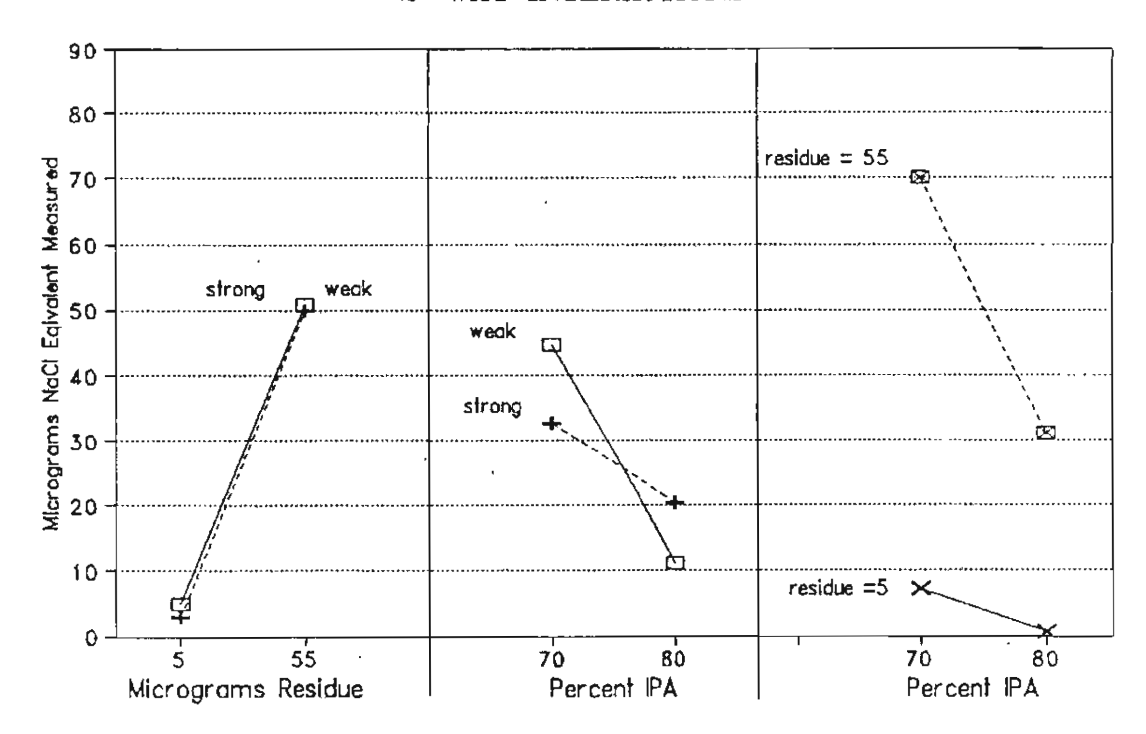
IPC-TR-583

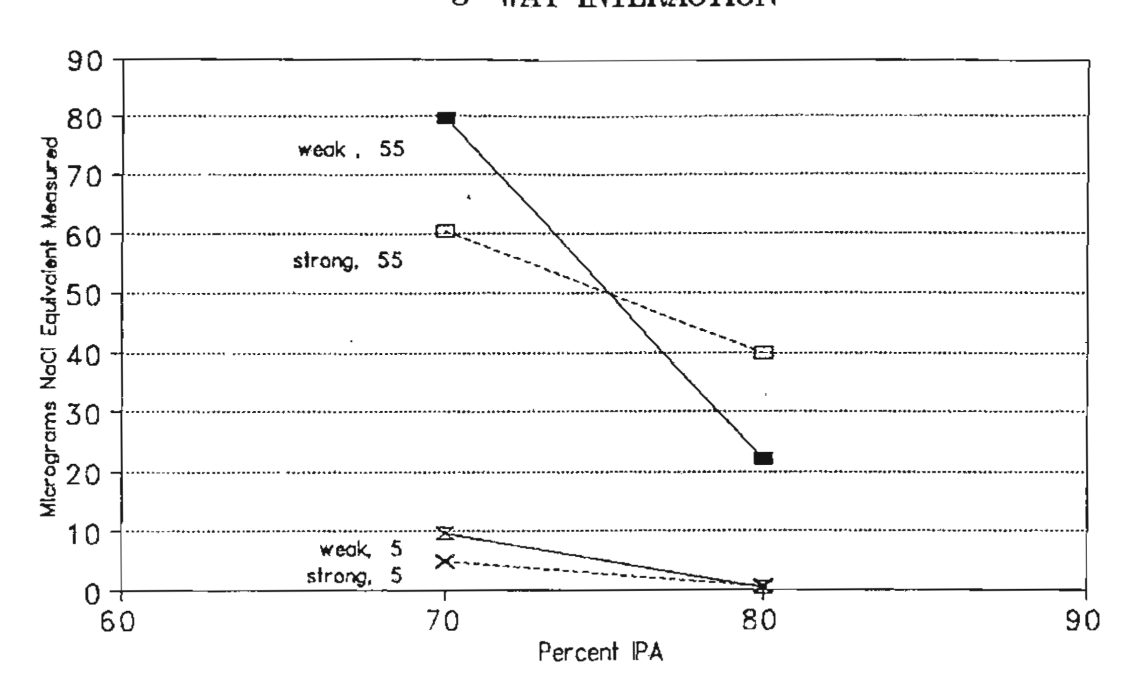
TABLE OF EFFECTS
In Solution Testing

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN RESPONSE	30.89*	27.20*	26.38*	7.00*	25.33*	20.53*	16.10*	17.98*	13.75*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	51.18*	46.58*	47.26*	11.10*	30.57*	25.91*	28.31*	24.56*	24.11*
IPA (I)	-20.33*	-22.84*	-22.29*	-1.40	-10.0*	-7.60*	-7.85*	-7.19*	-6.69*
Flux (F)	-1.55	-1.49	-9.88*	2.23	10.07*	7.51*	18.46*	19.37*	5.16*
Volume (V)					4.7*	7.45*	-1.01	3.61*	
INTERACTIONS									
R*I	-14.13*	-15.18*	-18.48*	-1.00	-2.35*	-3.29	-6.86*	-3.29*	-4.28*
R*F	0.65	0.70	-8.55*	2.63*	8.07*	3.78*	16.15*	16.47*	4.84*
R*V					1.55*	3.89*	0.72	6.56*	
I*F	11.00*	10.52*	10.28*	1.48	5.75*	2.79	1.63	0.74	2.42*
I*V					1.77*	-1.63	-0.04	-2.88*	
F*V					-0.85	-2.16	-1.60	5.24*	
R*I*F	8.00*	8.06*	8.83*	0.98	5.15*	4.15*	1.05	0.10	1.77
R*I*V					-0.52	-1.39	-1.05	-1.89*	
R*F*V					-1.0	0.38	-1.04	5.35*	
I*F*V					0.87	2.49	0.90	-2.65*	
R*I*F*V					0.12	-0.33	1.04	-2.22*	
CENTER POINT	1.74*	5.42	-0.64	4.48*	2.91	2.00	-0.15	2.22*	1.41

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.


IONOGRAPH 500M
MAIN EFFECTS
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
WEAK
STRONG
Flux Type


IONOGRAPH 500M
2-WAY INTERACTIONS
Micrograms NaCl Eqivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
strong
weak
weak
strong
residue = 55
residue =5
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
70
80
Percent IPA


IONOGRAPH 500M
3-WAY INTERACTION
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
weak , 55
strong, 55
weak, 5
strong, 5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
60
70
80
90

IONOGRAPH 500M
IN SOLUTION TEST

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	27.203	1.205	22.57	0.000	*
R	23.291	1.205	19.33	0.000	*
I	-11.418	1.205	-9.47	0.000	*
F	-0.744	1.205	-0.62	0.559	
R*I	-8.091	1.205	-6.71	0.001	*
R*F	0.348	1.205	0.29	0.782	
I*F	5.259	1.205	4.36	0.005	*
R*I*F	4.032	1.205	3.35	0.016	*
CTR.PT	5.422	2.308	2.35	0.057	
CTR*F	-3.231	2.308	-1.40	0.211	

s = 3.936   R-sq = 99.1%   R-sq(adj) = 97.9%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	9	10819.3	1202.1	77.60	0.000
Error	6	92.9	15.5		
Total	15	10912.3			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	8104.2
I	1	1313.0
F	1	131.5
R*I	1	698.2
R*F	1	11.9
I*F	1	271.2
R*I*F	1	173.4
CTR.PT	1	85.5
CTR*F	1	30.4

IPC-TR-583

ALPHA METALS

IONOGRAPH 500SMD

Dynamic
Heated
Spray below immersion

IONOGRAPH 500M SMD
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
"IN SOLUTION" TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C	A AMOUNT OF RESIDUE ($\mu GR/IN^2$)	B IPA (VOL%)	C FLUX TYPE	IONIC READING	TEST DURATION	TEST CELL TEMP.
1	5	- - +	5	70	STRONG	2.90	2:00	44.6°C
2	2	+ - -	55	70	WEAK	87.73	8:00	44.4°C
3	1	- - -	5	70	WEAK	6.21	2:00	44.1°C
4	6	+ - +	55	70	STRONG	49.01	6:00	45.0°C
5		0 0 -	30	75	WEAK	29.93	4:00	44.2°C
6	11	0 0 0	30	75	NaCl	20.23	4:00	44.2°C
7		0 0 +	30	75	STRONG	18.21	4:00	44.1°C
8	9	0 0 0	30	75	NaCl	19.38	4:00	44.7°C
9		0 0 -	30	75	WEAK	33.77	4:00	44.9°C
10	10	0 0 0	30	75	NaCl	22.42	4:00	44.8°C
11		0 0 +	30	75	STRONG	21.06	4:00	44.6°C
12	3	- + -	5	80	WEAK	0.79	2:00	44.4°C
13	7	- + +	5	80	STRONG	0.90	2:00	44.8°C
14	8	+ + +	55	80	STRONG	29.96	4:00	45.0°C
15	4	+ + -	55	80	WEAK	29.28	6:00	44.2°C
16	5	- - +	5	70	STRONG	3.62	2:00	44.2°C
17	2	+ - -	55	70	WEAK	90.59	2:00	45.0°C
18	1	- - -	5	70	WEAK	5.88	2:00	44.8°C
19	6	+ - +	55	70	STRONG	54.24	6:00	44.2°C

IPC-TR-583

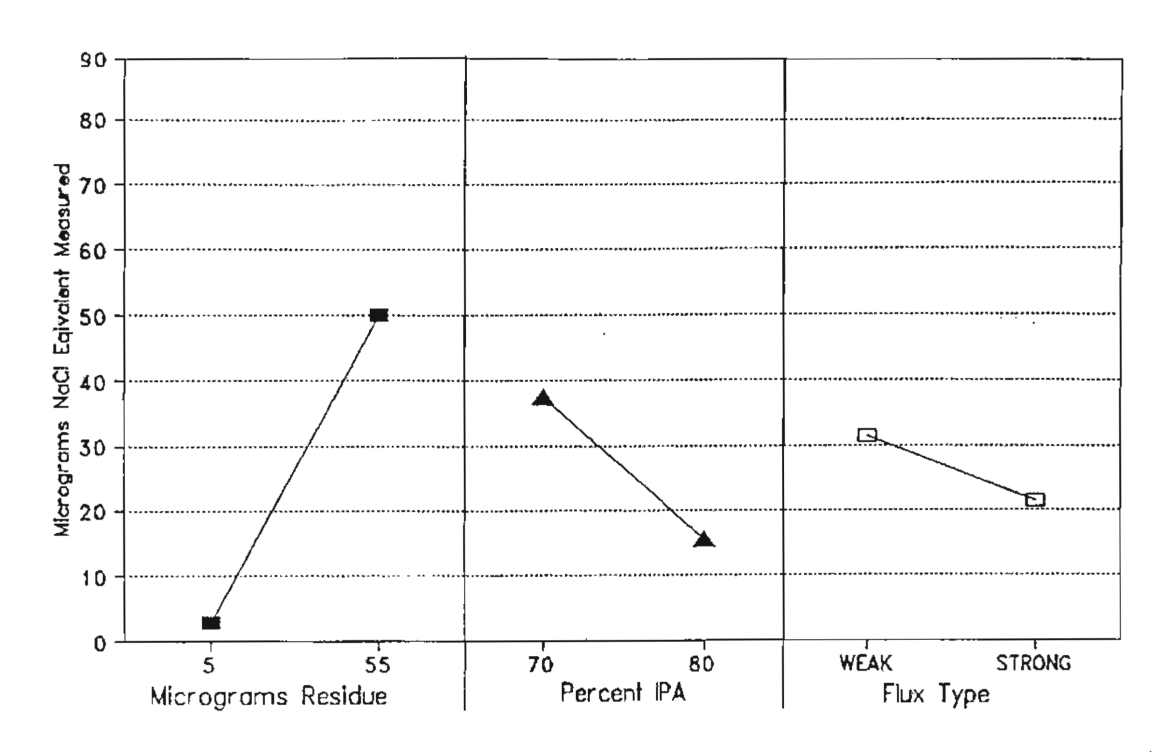
TABLE OF EFFECTS
In Solution Testing

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN RESPONSE	30.89*	27.20*	26.38*	7.00*	25.33*	20.53*	16.10*	17.98*	13.75*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	51.18*	46.58*	47.26*	11.10*	30.57*	25.91*	28.31*	24.56*	24.11*
IPA (I)	-20.33*	-22.84*	-22.29*	-1.40	-10.0*	-7.60*	-7.85*	-7.19*	-6.69*
Flux (F)	-1.55	-1.49	-9.88*	2.23	10.07*	7.51*	18.46*	19.37*	5.16*
Volume (V)					4.7*	7.45*	-1.01	3.61*	
INTERACTIONS									
R*I	-14.13*	-15.18*	-18.48*	-1.00	-2.35*	-3.29	-6.86*	-3.29*	-4.28*
R*F	0.65	0.70	-8.55*	2.63*	8.07*	3.78*	16.15*	16.47*	4.84*
R*V					1.55*	3.89*	0.72	6.56*	
I*F	11.00*	10.52*	10.28*	1.48	5.75*	2.79	1.63	0.74	2.42*
I*V					1.77*	-1.63	-0.04	-2.88*	
F*V					-0.85	-2.16	-1.60	5.24*	
R*I*F	8.00*	8.06*	8.83*	0.98	5.15*	4.15*	1.05	0.10	1.77
R*I*V					-0.52	-1.39	-1.05	-1.89*	
R*F*V					-1.0	0.38	-1.04	5.35*	
I*F*V					0.87	2.49	0.90	-2.65*	
R*I*F*V					0.12	-0.33	1.04	-2.22*	
CENTER POINT	1.74*	5.42	-0.64	4.48*	2.91	2.00	-0.15	2.22*	1.41

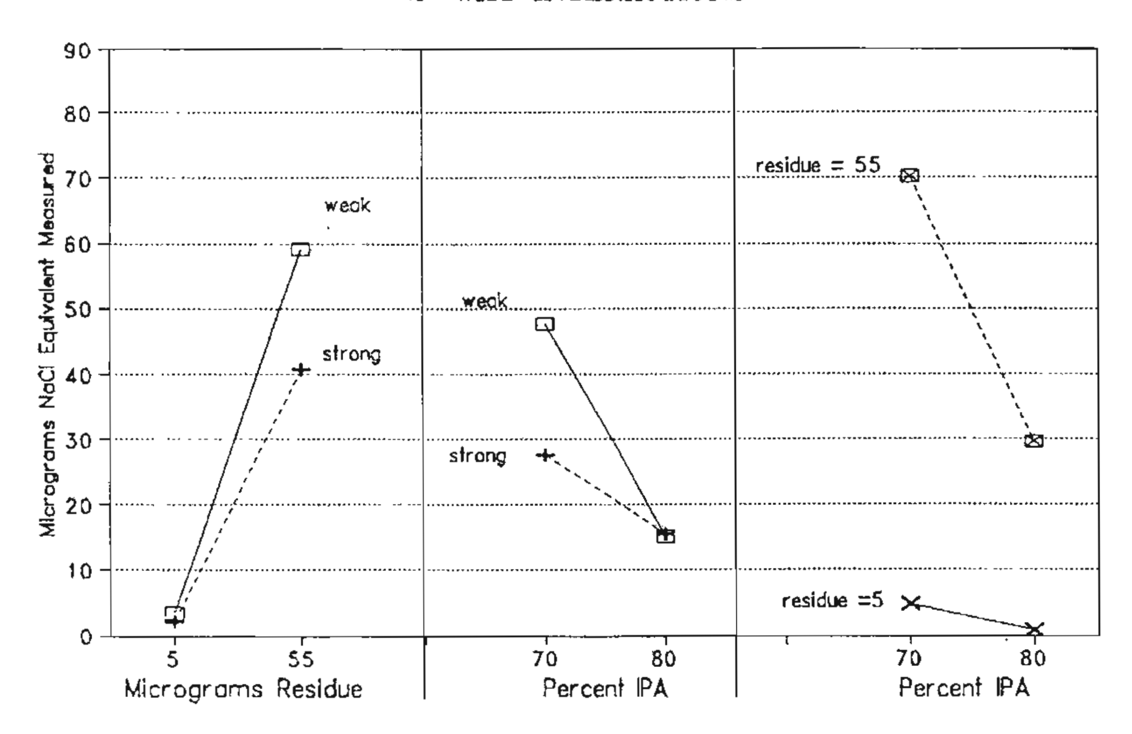
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

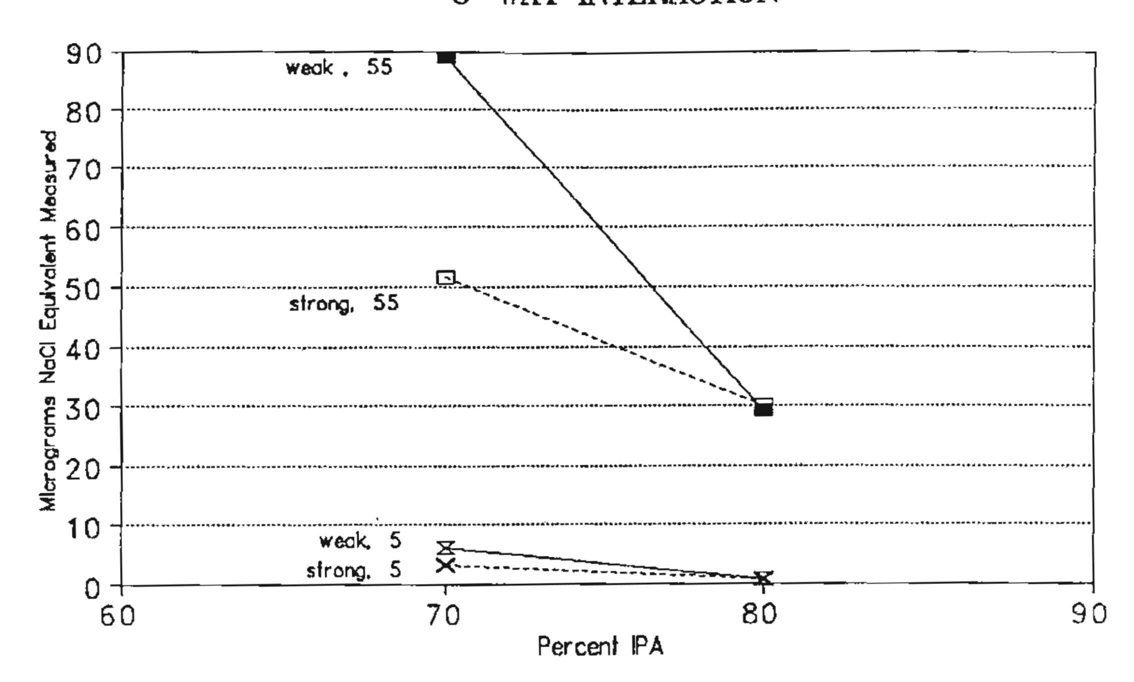
198

IONOGRAPH 500SMD
MAIN EFFECTS



IONOGRAPH 500SMD
2-WAY INTERACTIONS




IONOGRAPH 500SMD
3-WAY INTERACTION
weak , 55
strong, 55
weak, 5
strong, 5
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
60
70
80
90

IONOGRAPH 500SMD
IN SOLUTION TEST

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	26.3775	0.6791	38.84	0.000	*
R	23.6287	0.6791	34.80	0.000	*
I	-11.1450	0.6791	-16.41	0.000	*
F	-4.9413	0.6791	-7.28	0.000	*
R*I	-9.2413	0.6791	-13.61	0.000	*
R*F	-4.2725	0.6791	-6.29	0.001	*
I*F	5.1387	0.6791	7.57	0.000	*
R*I*F	4.4150	0.6791	6.50	0.001	*
CTR.PT	-0.635	1.300	-0.49	0.643	
CTR*F	-1.166	1.300	-0.90	0.404	

s = 2.218   R-sq = 99.8%   R-sq(adj) = 99.4%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	9	12419.3	1379.9	280.53	0.000
Error	6	29.5	4.9		
Total	15	12448.8			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	8560.6
I	1	1380.5
F	1	679.6
R*I	1	910.9
R*F	1	395.9
I*F	1	278.6
R*I*F	1	207.9
CTR.PT	1	1.2
CTR*F	1	4.0

IPC-TR-583

PROTONIQUE

CONTAMINOMETER CM5 (dynamic)

Dynamic
Unheated
No Spray

CONTAMINOMETER CMS/DYNAMIC MODE
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
"IN SOLUTION" TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C	A AMOUNT OF RESIDUE (µGR/IN²)	B IPA (VOL%)	C FLUX TYPE	IONIC READING	TEST DURATION	TEST CELL TEMP.
1	2	+ - -	55	70	WEAK	15.1	3:16	71°F
2	5	- - +	5	70	STRONG	1.4	1:36	71°F
3	6	+ - +	55	70	STRONG	15.5	3:16	72°F
4	1	- - -	5	70	WEAK	2.0	1:36	72°F
5		0 0 +	30	75	STRONG	10.4	3:16	72°F
6	11	0 0 0	30	75	NaCl	7.7	3:16	72°F
7		0 0 -	30	75	WEAK	12.1	3:16	72°F
8	9	0 0 0	30	75	NaCl	5.9	1:36	72°F
9		0 0 +	30	75	STRONG	10.9	3:16	72°F
10	10	0 0 0	30	75	NaCl	6.8	3:16	72°F
11		0 0 -	30	75	WEAK	12.5	3:16	72°F
12	8	+ + +	55	80	STRONG	15.0	3:16	72°F
13	7	- + +	5	80	STRONG	1.3	1:36	72°F
14	3	- + -	5	80	WEAK	1.2	1:36	72°F
15	4	+ + -	55	80	WEAK	7.7	3:16	72°F
16	2	+ - -	55	70	WEAK	10.0	3:16	72°F
17	5	- - +	5	70	STRONG	1.0	1:36	73°F
18	6	+ - +	55	70	STRONG	14.4	3:16	73°F
19	1	- - -	5	70	WEAK	2.2	1:36	73°F

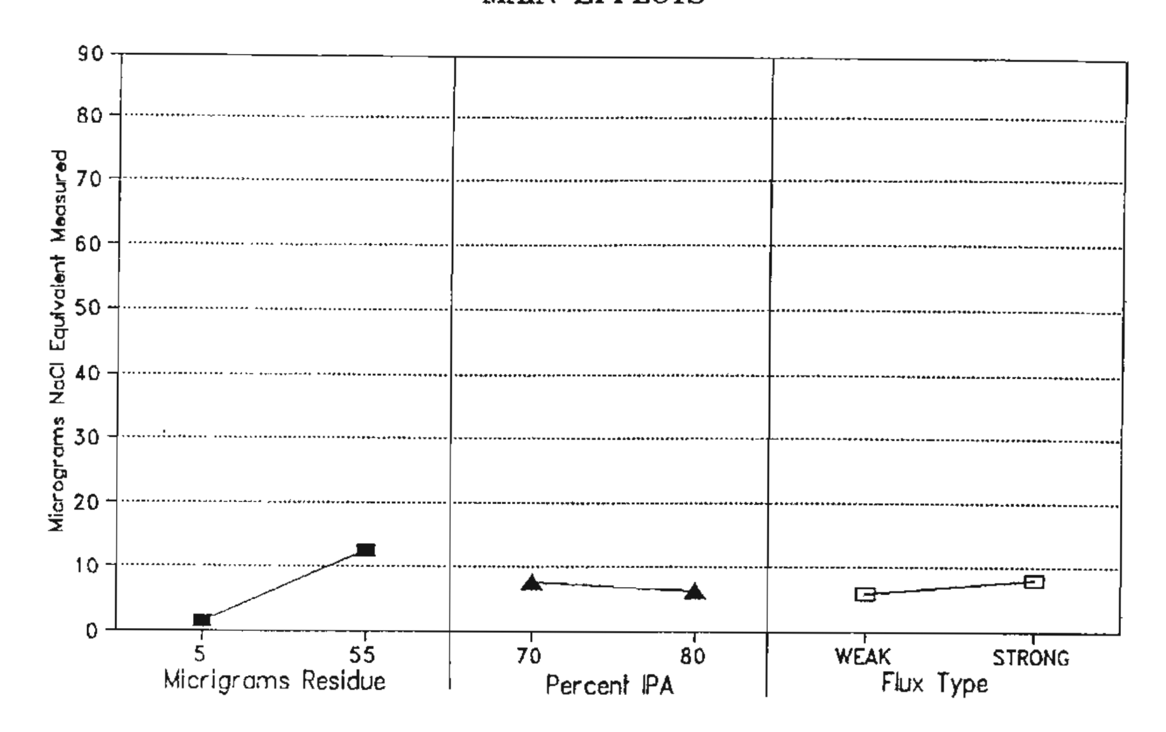
IPC-TR-583

TABLE OF EFFECTS
In Solution Testing

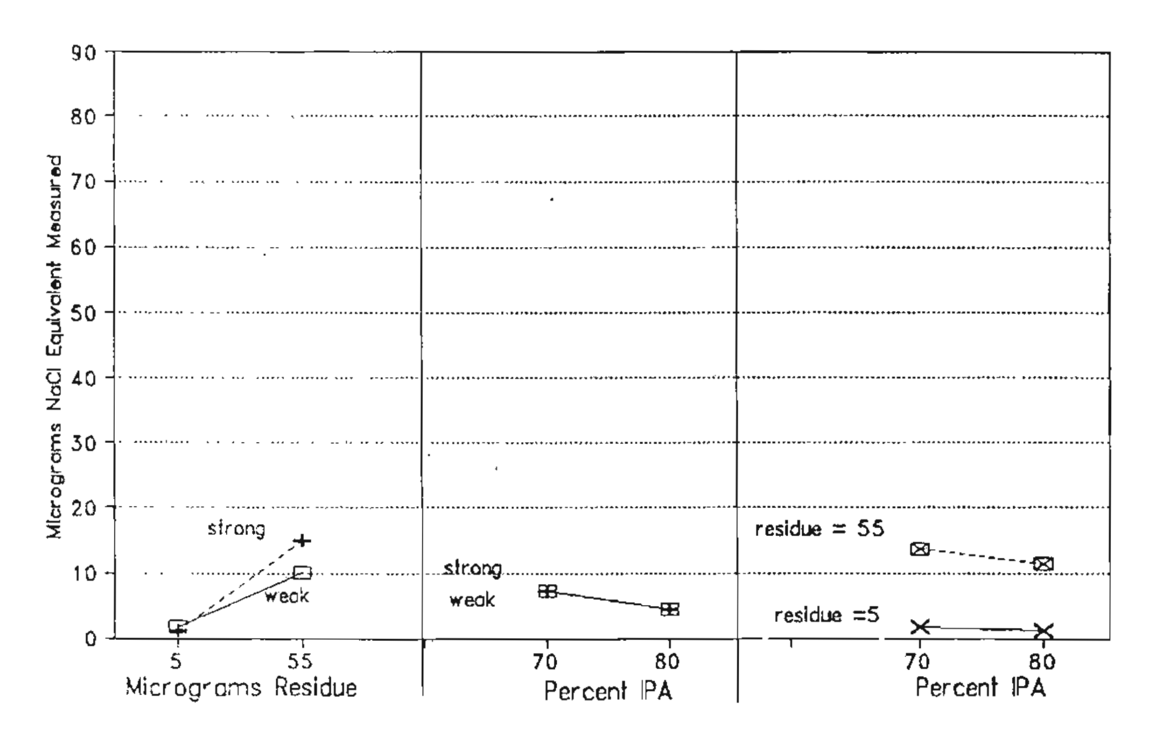
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN RESPONSE	30.89*	27.20*	26.38*	7.00*	25.33*	20.53*	16.10*	17.98*	13.75*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	51.18*	46.58*	47.26*	11.10*	30.57*	25.91*	28.31*	24.56*	24.11*
IPA (I)	-20.33*	-22.84*	-22.29*	-1.40	-10.0*	-7.60*	-7.85*	-7.19*	-6.69*
Flux (F)	-1.55	-1.49	-9.88*	2.23	10.07*	7.51*	18.46*	19.37*	5.16*
Volume (V)					4.7*	7.45*	-1.01	3.61*	
INTERACTIONS									
R*I	-14.13*	-15.18*	-18.48*	-1.00	-2.35*	-3.29	-6.86*	-3.29*	-4.28*
R*F	0.65	0.70	-8.55*	2.63*	8.07*	3.78*	16.15*	16.47*	4.84*
R*V					1.55*	3.89*	0.72	6.56*	
I*F	11.00*	10.52*	10.28*	1.48	5.75*	2.79	1.63	0.74	2.42*
I*V					1.77*	-1.63	-0.04	-2.88*	
F*V					-0.85	-2.16	-1.60	5.24*	
R*I*F	8.00*	8.06*	8.83*	0.98	5.15*	4.15*	1.05	0.10	1.77
R*I*V					-0.52	-1.39	-1.05	-1.89*	
R*F*V					-1.0	0.38	-1.04	5.35*	
I*F*V					0.87	2.49	0.90	-2.65*	
R*I*F*V					0.12	-0.33	1.04	-2.22*	
CENTER POINT	1.74*	5.42	-0.64	4.48*	2.91	2.00	-0.15	2.22*	1.41

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

CONTAMINOMER CM-5 (dynamic)
MAIN EFFECTS

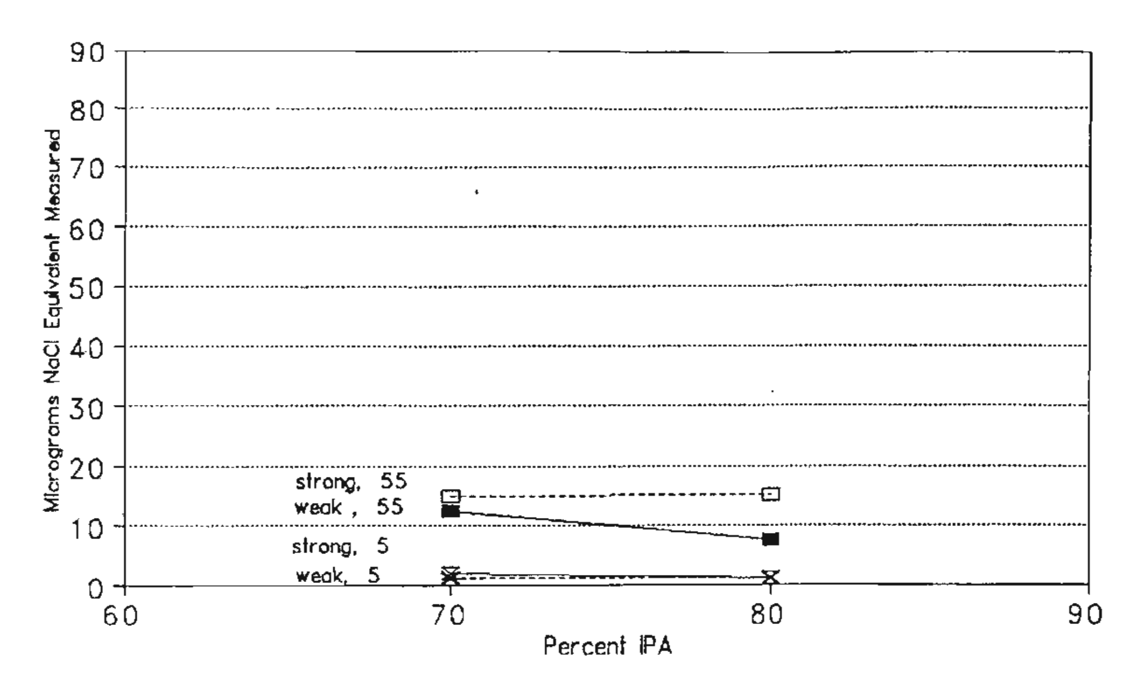


CONTAMINOMETER CM-5 (dynamic)
2-WAY INTERACTIONS



CONTAMINOMETER CM-5 (dynamic)

3-WAY INTERACTION



CONTAMINOMETER CM-5 (dynamic)
IN SOLUTION TEST

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	7.0000	0.4663	15.01	0.000	*
R	5.5500	0.4663	11.90	0.000	*
I	-0.7000	0.4663	-1.50	0.184	
F	1.1125	0.4663	2.39	0.054	
R*I	-0.5000	0.4663	-1.07	0.325	
R*F	1.3125	0.4663	2.81	0.031	*
I*F	0.7375	0.4663	1.58	0.165	
R*I*F	0.4875	0.4663	1.05	0.336	
CTR.PT	4.4750	0.8929	5.01	0.002	*
CTR*F	-1.9375	0.8929	-2.17	0.073	

s = 1.523 R-sq = 97.2% R-sq(adj) = 93.1%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	9	489.974	54.442	23.47	0.001
Error	6	13.915	2.319		
Total	15	503.889			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	392.163
I	1	0.946
F	1	3.151
R*I	1	2.667
R*F	1	15.870
I*F	1	3.466
R*I*F	1	2.535
CTR.PT	1	58.256
CTR*F	1	10.920

Unusual Observations

Obs.	R	D	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
1	1.00	15.100	12.550	1.077	2.550	2.37R
13	1.00	10.000	12.550	1.077	-2.550	-2.37R

R denotes an obs. with a large st. resid.

IPC-TR-583

ALPHA METALS

OMEGAMETER 600R

Static
Unheated
No spray

OMEGAMETER 600R
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
"IN SOLUTION" TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C D	A AMOUNT OF RESIDUE (μGR/IN²)	B IPA (VOL%)	C TEST CELL VOLUME (% FULL)	D FLUX TYPE	IONIC READING	TEST DURATION	TEST CELL TEMP.
1	5	- - + -	5	70	33	STRONG	13.0	23:10	82°F
2	1	- - - -	5	70	33	WEAK	10.4	22:40	82°F
3	2	+ - - -	55	70	33	WEAK	37.1	4:20	81°F
4	6	+ - + -	55	70	33	STRONG	50.2	4:20	81°F
5	9	- - - +	5	70	100	WEAK	16.0	33:00	81°F
6	14	+ - + +	55	70	100	STRONG	52.6	4:20	80°F
7	13	- - + +	5	70	100	STRONG	17.0	37:00	80°F
8	10	+ - - +	55	70	100	WEAK	48.7	4:20	80°F
9		0 0 + 0	30	75	66	STRONG	26.0	5:30	81°F
10	18	0 0 0 0	30	75	66	NaCl	34.6	14:40	81°F
11		0 0 - 0	30	75	66	WEAK	18.1	6:30	81°F
12	17	0 0 0 0	30	75	66	NaCl	33.6	11:40	80°F
13		0 0 + 0	30	75	66	STRONG	27.4	5:60	80°F
14	19	0 0 0 0	30	75	66	NaCl	38.4	20:50	80°F
15		0 0 - 0	30	75	66	WEAK	18.2	8:40	80°F
16	8	+ + + -	55	80	33	STRONG	47.4	8:10	82°F
17	3	- + - -	5	80	33	WEAK	4.4	12:30	81°F
18	15	- + + +	5	80	100	STRONG	8.9	22:30	80°F
19	11	- + - +	5	80	100	WEAK	5.4	12:30	80°F
20	12	+ + - +	55	80	100	WEAK	22.3	4:10	78°F
21	7	- + + -	5	80	33	STRONG	6.1	9:00	80°F
22	16	+ + + +	55	80	100	STRONG	50.5	4:00	79°F
23	4	+ + - -	55	80	33	WEAK	17.5	4:00	79°F
24	5	- - + -	5	70	33	STRONG	12.4	24:10	80°F
25	1	- - - -	5	70	33	WEAK	11.0	21:40	81°F
26	2	+ - - -	55	70	33	WEAK	37.9	5:40	81°F
27	6	+ - + -	55	70	33	STRONG	45.0	4:10	83°F
28	9	- - - +	5	70	100	WEAK	15.4	33:20	80°F
29	14	+ - + +	55	70	100	STRONG	54.0	4:10	79°F
30	13	- - + +	5	70	100	STRONG	16.0	37:20	80°F
31	10	+ - - +	55	70	100	WEAK	49.1	10:40	79°F

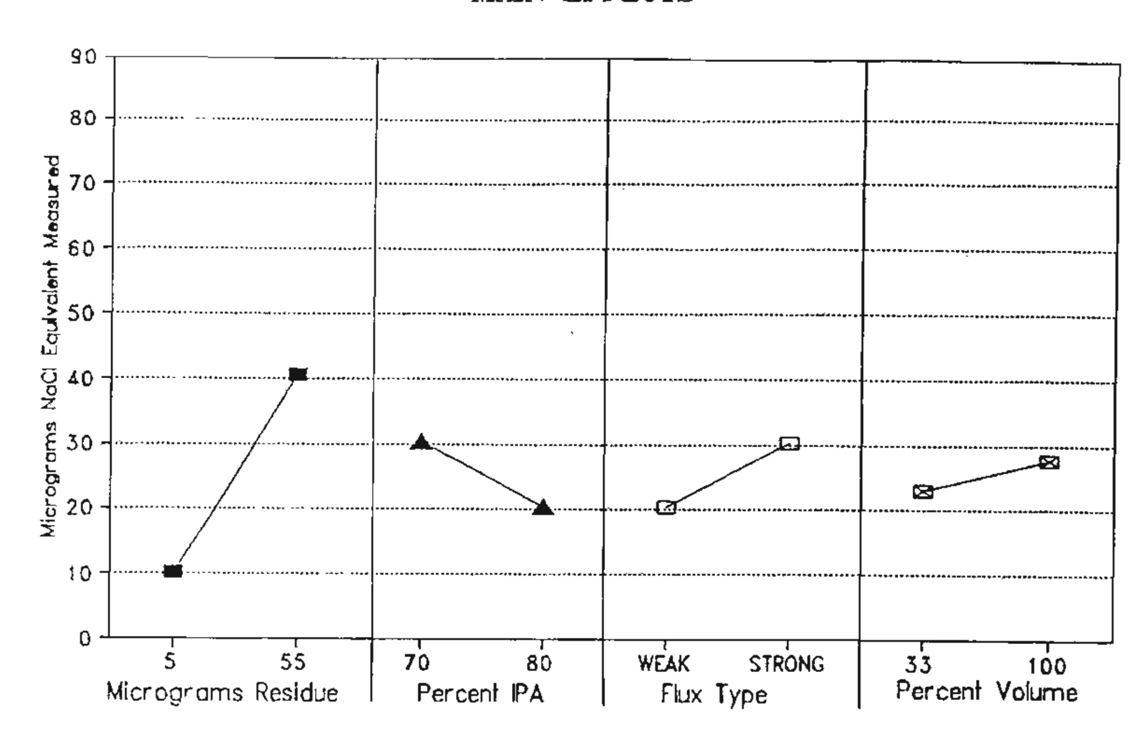
IPC-TR-583

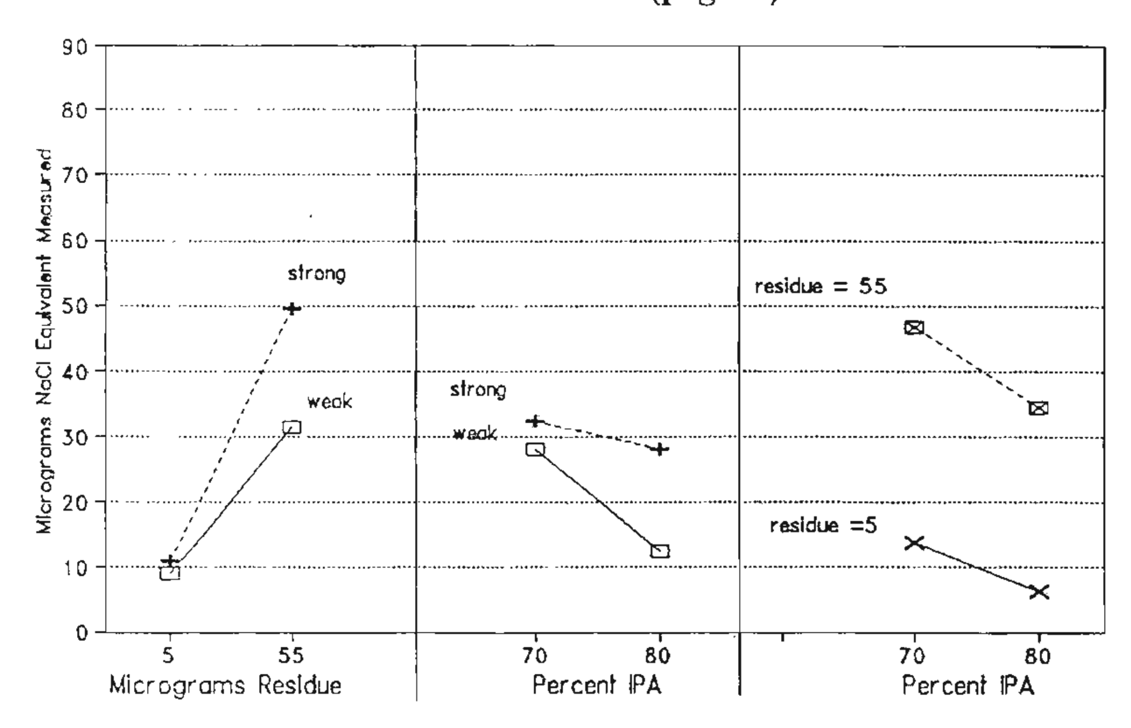
TABLE OF EFFECTS
In Solution Testing

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	Cm-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN RESPONSE	30.89*	27.20*	26.38*	7.00*	25.33*	20.53*	16.10*	17.98*	13.75*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	51.18*	46.58*	47.26*	11.10*	30.57*	25.91*	28.31*	24.56*	24.11*
IPA (I)	-20.33*	-22.84*	-22.29*	-1.40	-10.0*	-7.60*	-7.85*	-7.19*	-6.69*
Flux (F)	-1.55	-1.49	-9.88*	2.23	10.07*	7.51*	18.46*	19.37*	5.16*
Volume (V)					4.7*	7.45*	-1.01	3.61*	
INTERACTIONS									
R*I	-14.13*	-15.18*	-18.48*	-1.00	-2.35*	-3.29	-6.86*	-3.29*	-4.28*
R*F	0.65	0.70	-8.55*	2.63*	8.07*	3.78*	16.15*	16.47*	4.84*
R*V					1.55*	3.89*	0.72	6.56*	
I*F	11.00*	10.52*	10.28*	1.48	5.75*	2.79	1.63	0.74	2.42*
I*V					1.77*	-1.63	-0.04	-2.88*	
F*V					-0.85	-2.16	-1.60	5.24*	
R*I*F	8.00*	8.06*	8.83*	0.98	5.15*	4.15*	1.05	0.10	1.77
R*I*V					-0.52	-1.39	-1.05	-1.89*	
R*F*V					-1.0	0.38	-1.04	5.35*	
I*F*V					0.87	2.49	0.90	-2.65*	
R*I*F*V					0.12	-0.33	1.04	-2.22*	
CENTER POINT	1.74*	5.42	-0.64	4.48*	2.91	2.00	-0.15	2.22*	1.41

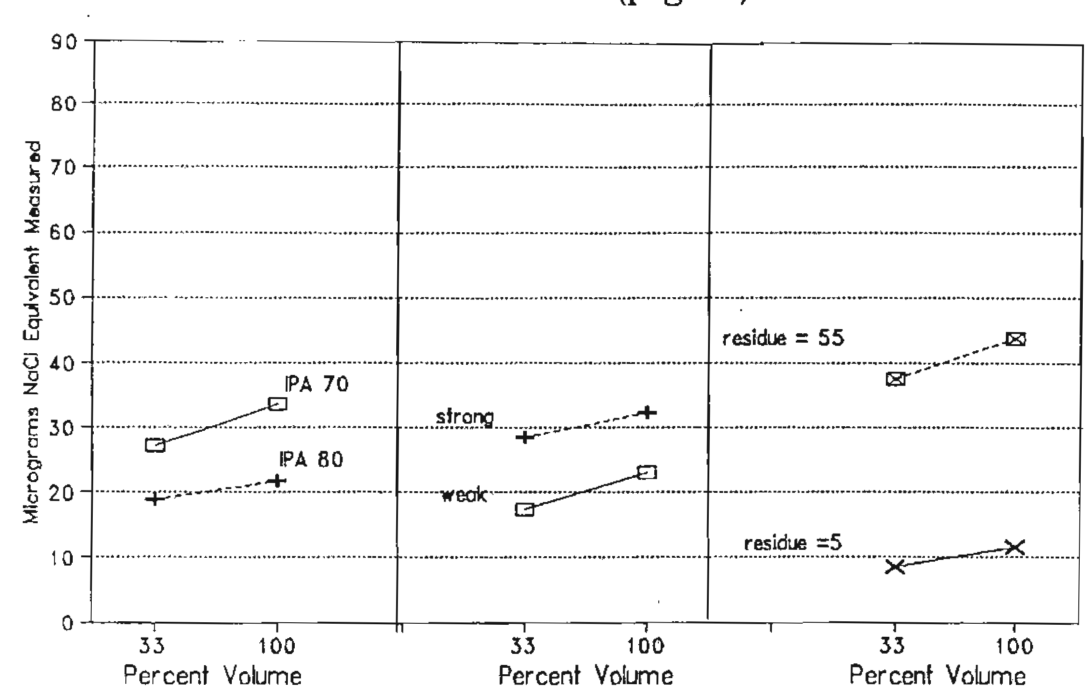
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

210

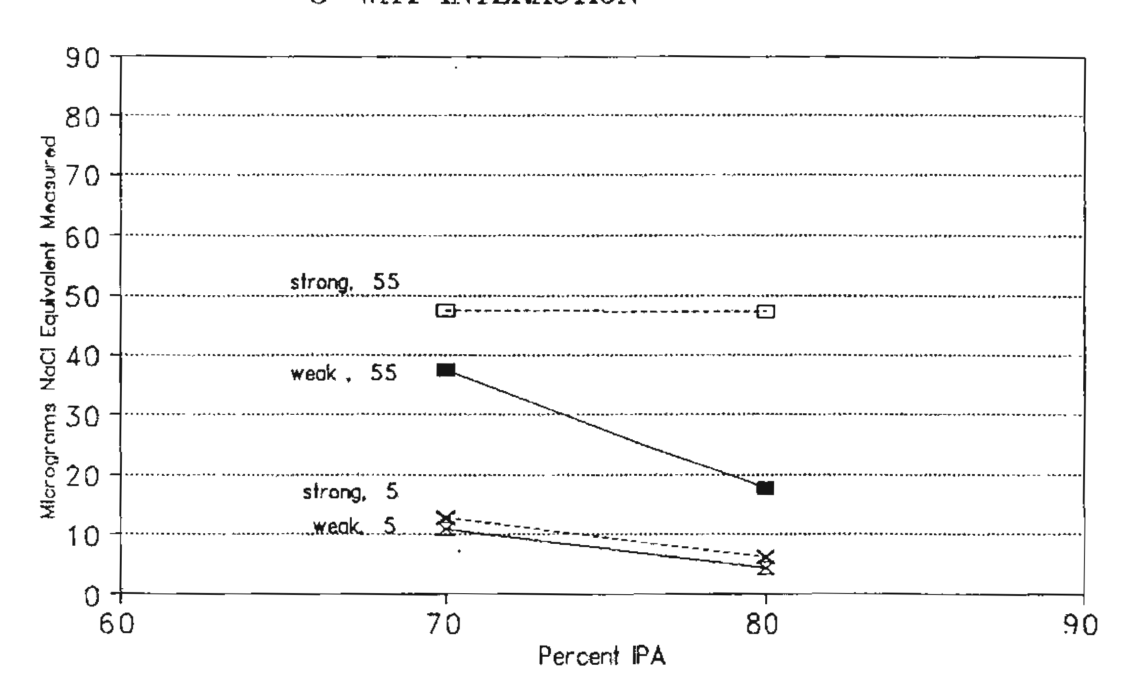

OMEGAMETER 600R
MAIN EFFECTS
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
WEAK
STRONG
Flux Type
33
100
Percent Volume


OMEGAMETER 600R
2-WAY INTERACTIONS (page 1)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
strong
weak
strong
weak
residue = 55
residue =5
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
70
80
Percent IPA

OMEGAMETER 600R
2-WAY INTERACTIONS (page 2)



OMEGAMETER 600R
3-WAY INTERACTION



OMEGAMETER 600R
IN SOLUTION TEST

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	26.522	1.788	14.84	0.000	*
R	15.653	1.788	8.76	0.000	*
I	-2.753	1.788	-1.54	0.155	
F	4.684	1.788	2.62	0.026	*
V	1.234	1.788	0.69	0.506	
R*I	-0.222	1.788	-0.12	0.904	
R*F	3.491	1.788	1.95	0.079	
R*V	-1.234	1.788	-0.69	0.506	
I*F	1.484	1.788	0.83	0.426	
I*V	-1.091	1.788	-0.61	0.555	
F*V	0.697	1.788	0.39	0.705	
R*I*F	1.741	1.788	0.97	0.353	
R*I*V	-1.709	1.788	-0.96	0.362	
R*F*V	0.503	1.788	0.28	0.784	
I*F*V	0.697	1.788	0.39	0.705	
R*I*F*V	0.803	1.788	0.45	0.663	
CTR.PT	-4.097	4.499	-0.91	0.384	
CTR*F	-0.409	4.499	-0.09	0.929	

s = 8.257 R-sq = 91.3% R-sq(adj) = 76.4%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	17	7130.96	419.47	6.15	0.003
Error	10	681.77	68.18		
Total	27	7812.73			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	5900.07
I	1	122.85
F	1	472.32
V	1	51.52
R*I	1	0.05
R*F	1	242.57
R*V	1	23.13
I*F	1	48.84
I*V	1	25.25
F*V	1	1.28
R*I*F	1	82.35
R*I*V	1	71.03
R*F*V	1	5.27
I*F*V	1	13.87
R*I*F*V	1	13.45
CTR.PT	1	56.54
CTR*F	1	0.56

Unusual Observations

Obs.	R	E	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
9	1.00	17.50	33.30	5.84	-15.80	-2.71R
25	1.00	49.10	33.30	5.84	15.80	2.71R

R denotes an obs. with a large st. resid.

IPC-TR-583

ALPHA METALS

OMEGAMETER 600SMD

Static
Heated
Spray below immersion

IPC-TR-583

OMEGAMETER 600SMD
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
"IN SOLUTION" TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C D	A AMOUNT OF RESIDUE (µGR/IN²)	B IPA (VOL%)	C TEST CELL VOLUME (% FULL)	D FLUX TYPE	IONIC READING	TEST DURATION	TEST CELL TEMP.
1	9	- - - +	5	70	33	STRONG	19.4	47:50	113°F
2	6	+ - + -	55	70	100	WEAK	41.1	9:10	112°F
3	10	+ - - +	55	70	33	STRONG	36.7	16:00	114°F
4	5	- - + -	5	70	100	WEAK	12.5	24:40	114°F
5	12	+ + + -	55	80	33	STRONG	32.7	11:30	114°F
6	4	+ + - -	55	80	33	WEAK	13.5	8:30	112°F
7	15	- + + +	5	80	100	STRONG	7.4	5:00	112°F
8	7	- + + -	5	80	100	WEAK	5.5	12:20	111°F
9		0 0 0 +	30	75	66	STRONG	27.1	5:30	111°F
10	19	0 0 0 0	30	75	66	NaCl	37.4	7:40	111°F
11		0 0 0 -	30	75	66	WEAK	18.5	4:10	111°F
12	17	0 0 0 0	30	75	66	NaCl	36.0	9:40	111°F
13		0 0 0 +	30	75	66	STRONG	24.7	7:00	110°F
14	18	0 0 0 0	30	75	66	NaCl	33.4	5:00	109°F
15		0 0 0 -	30	75	66	WEAK	19.8	5:00	110°F
16	13	- - + +	5	70	100	STRONG	11.5	37:40	113°F
17	2	+ - - -	55	70	33	WEAK	27.6	7:40	106°F
18	14	+ - + +	55	70	100	STRONG	46.3	7:00	110°F
19	1	- - - -	5	70	33	WEAK	2.0	6:50	109°F
20	11	- + - +	5	80	33	STRONG	4.8	5:00	110°F
21	16	+ + + +	55	80	100	STRONG	41.5	14:20	113°F
22	3	- + - -	5	80	33	WEAK	2.7	5:20	111°F
23	8	+ + + -	55	80	100	WEAK	22.9	5:40	112°F
24	9	- - - +	5	70	33	STRONG	6.7	4:10	105°F
25	6	+ - + -	55	70	100	WEAK	50.4	4:10	108°F
26	10	+ - - +	55	70	33	STRONG	35.1	16:40	110°F
27	5	- - + -	5	70	100	WEAK	11.0	28:30	113°F
28	12	+ + - +	55	80	33	STRONG	32.9	17:10	111°F
29	4	+ + - +	55	80	33	WEAK	16.4	4:10	110°F
30	15	- + + +	5	80	100	STRONG	9.4	18:30	112°F
31	7	- + + -	5	80	100	WEAK	6.0	6:20	112°F

215

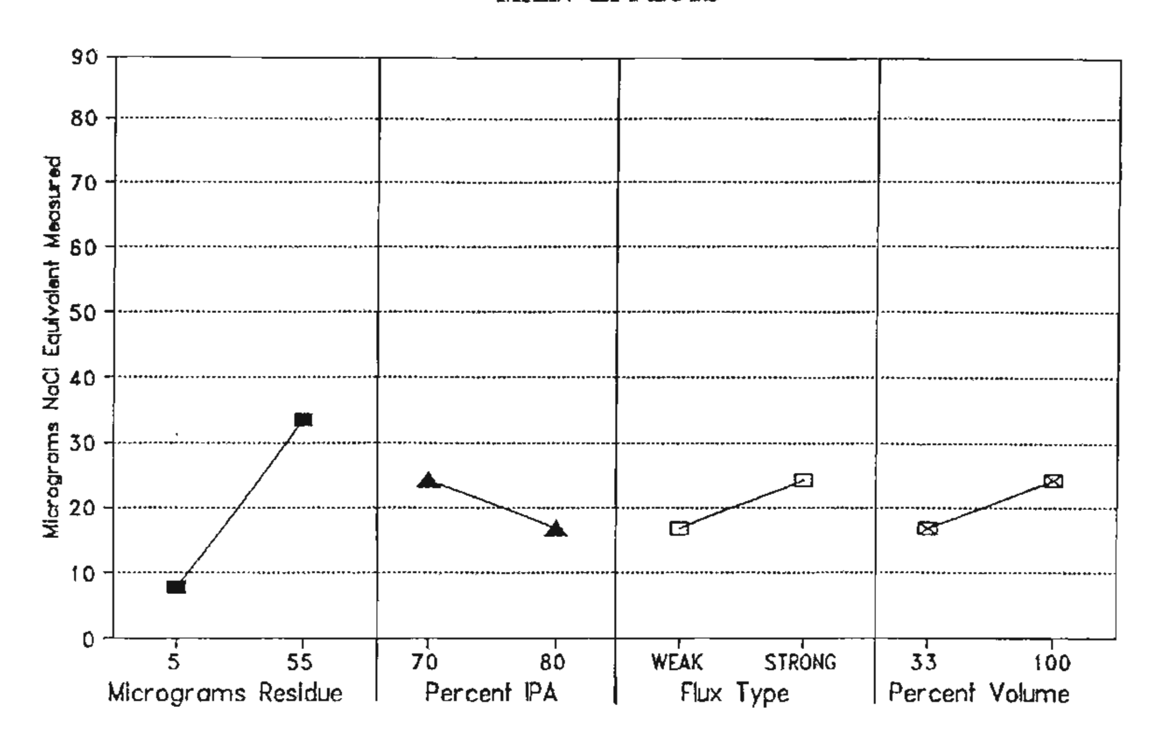
IPC-TR-583

TABLE OF EFFECTS
In Solution Testing

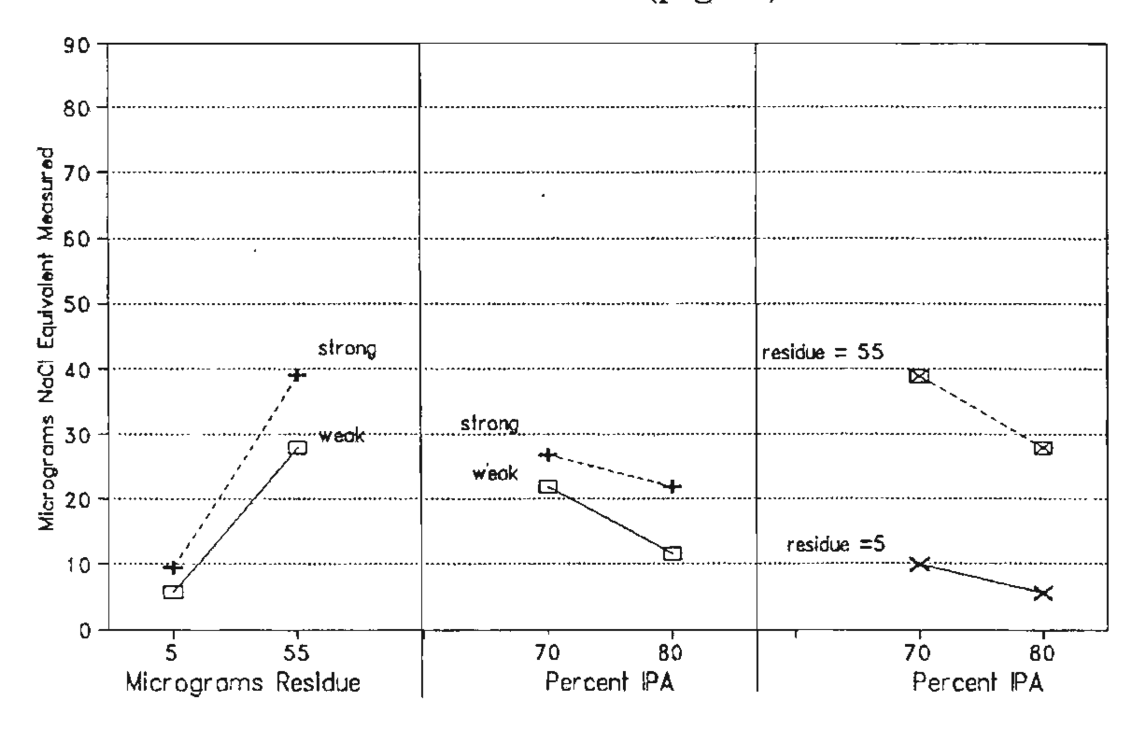
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN RESPONSE	30.89*	27.20*	26.38*	7.00*	25.33*	20.53*	16.10*	17.98*	13.75*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	51.18*	46.58*	47.26*	11.10*	30.57*	25.91*	28.31*	24.56*	24.11*
IPA (I)	-20.33*	-22.84*	-22.29*	-1.40	-10.0*	-7.60*	-7.85*	-7.19*	-6.69*
Flux (F)	-1.55	-1.49	-9.88*	2.23	10.07*	7.51*	18.46*	19.37*	5.16*
Volume (V)					4.7*	7.45*	-1.01	3.61*	
INTERACTIONS									
R*I	-14.13*	-15.18*	-18.48*	-1.00	-2.35*	-3.29	-6.86*	-3.29*	-4.28*
R*F	0.65	0.70	-8.55*	2.63*	8.07*	3.78*	16.15*	16.47*	4.84*
R*V					1.55*	3.89*	0.72	6.56*	
I*F	11.00*	10.52*	10.28*	1.48	5.75*	2.79	1.63	0.74	2.42*
I*V					1.77*	-1.63	-0.04	-2.88*	
F*V					-0.85	-2.16	-1.60	5.24*	
R*I*F	8.00*	8.06*	8.83*	0.98	5.15*	4.15*	1.05	0.10	1.77
R*I*V					-0.52	-1.39	-1.05	-1.89*	
R*F*V					-1.0	0.38	-1.04	5.35*	
I*F*V					0.87	2.49	0.90	-2.65*	
R*I*F*V					0.12	-0.33	1.04	-2.22*	
CENTER POINT	1.74*	5.42	-0.64	4.48*	2.91	2.00	-0.15	2.22*	1.41

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

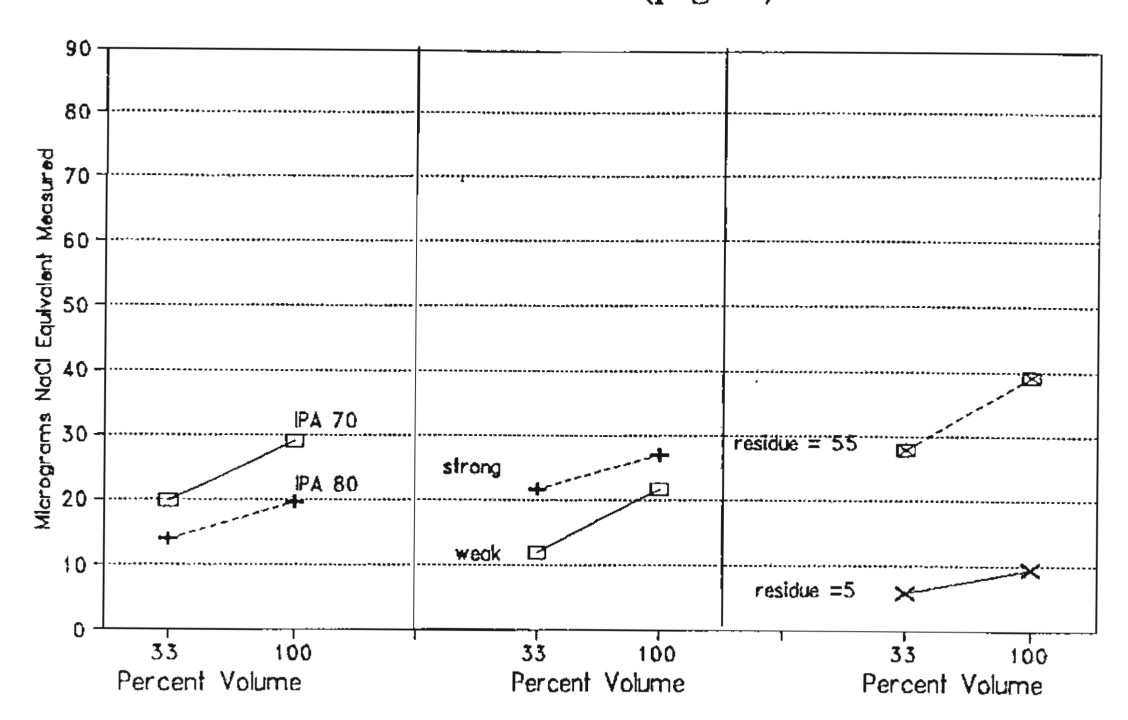
OMEGAMETER 600SMD
MAIN EFFECTS



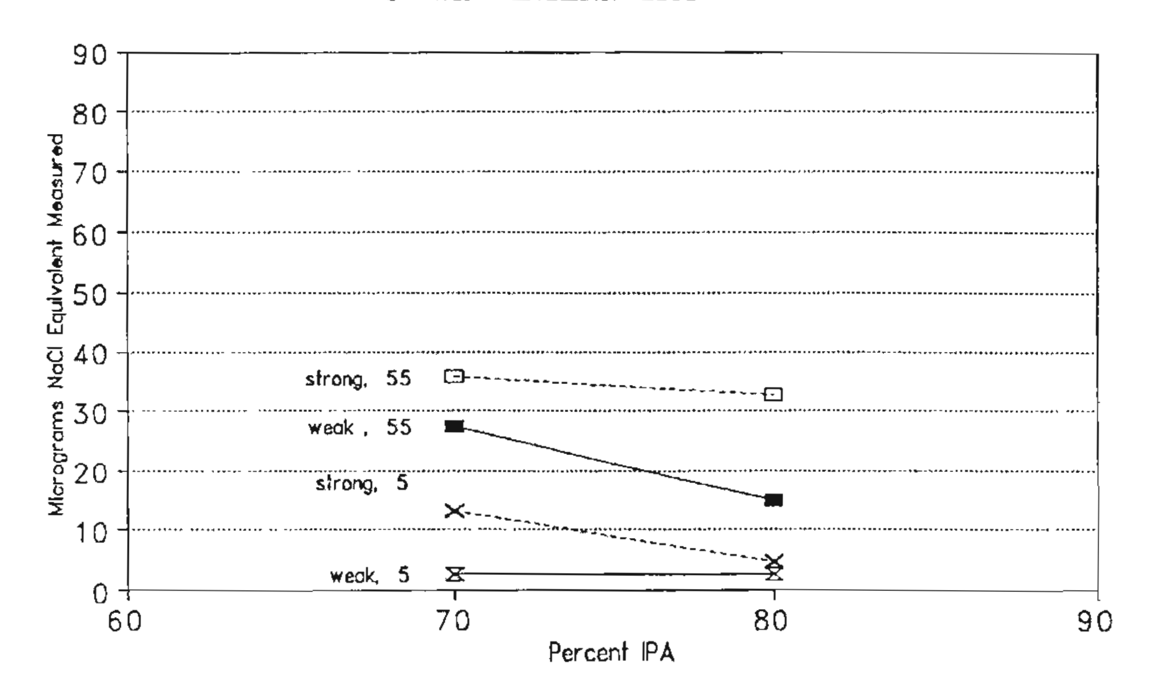
OMEGAMETER 600SMD
2-WAY INTERACTIONS (page 1)



OMEGAMETER 600SMD
2-WAY INTERACTIONS (page 2)



OMEGAMETER 600SMD
3-WAY INTERACTION



OMEGAMETER 600SMD
IN SOLUTION TEST

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	20.5250	0.7914	25.93	0.000	*
R	12.9563	0.7914	16.37	0.000	*
I	-3.8000	0.7914	-4.80	0.000	*
F	3.7562	0.7914	4.75	0.000	*
V	3.7250	0.7914	4.71	0.000	*
R*I	-1.6438	0.7914	-2.08	0.065	
R*F	1.8875	0.7914	2.38	0.038	*
R*V	1.9438	0.7914	2.46	0.034	*
I*F	1.3938	0.7914	1.76	0.109	
I*V	-0.8125	0.7914	-1.03	0.329	
F*V	-1.0813	0.7914	-1.37	0.202	
R*I*F	2.0750	0.7914	2.62	0.026	*
R*I*V	-0.6938	0.7914	-0.88	0.401	
R*F*V	0.1875	0.7914	0.24	0.818	
I*F*V	1.2437	0.7914	1.57	0.147	
R*I*F*V	-0.1625	0.7914	-0.21	0.841	
CTR.PT	2.000	1.992	1.00	0.339	
CTR*F	-0.381	1.992	-0.19	0.852	

s = 3.655 R-sq = 97.5% R-sq(adj) = 93.4%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	17	5304.38	312.02	23.35	0.000
Error	10	133.63	13.36		
Total	27	5438.00			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	3697.68
I	1	463.76
F	1	260.47
V	1	409.54
R*I	1	45.99
R*F	1	48.45
R*V	1	124.54
I*F	1	54.21
I*V	1	13.80
F*V	1	42.46
R*I*F	1	88.85
R*I*V	1	8.95
R*F*V	1	0.67
I*F*V	1	30.40
R*I*F*V	1	0.64
CTR.PT	1	13.47
CTR*F	1	0.49

Unusual Observations

Obs.	R	F.	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
4	-1.00	19.400	13.050	2.585	6.350	2.46R
24	-1.00	6.700	13.050	2.585	-6.350	-2.46R

R denotes an obs. with a large st. resid.

IPC-TR-583

KESTER

IONEX 2000 (series 100)

Static
Unheated
Spray above immersion

IONEX 2000/100
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
"IN SOLUTION" TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C D	A AMOUNT OF RESIDUE (μGR/IN²)	B IPA (VOL%)	C TEST CELL VOLUME (% FULL)	D FLUX TYPE	IONIC READING	TEST DURATION	TEST CELL TEMP.
1	9	- - - +	5	70	100	WEAK	0.80	12:00	104°F
2	5	- - + -	5	70	33	STRONG	5.0	12:00	104°F
3	14	+ - + +	55	70	100	STRONG	48.7	12:00	103°F
4	13	- - + +	5	70	100	STRONG	1.2	12:00	103°F
5	2	+ - - -	55	70	33	WEAK	18.4	12:00	104°F
6	6	+ - + -	55	70	33	STRONG	53.5	12:00	104°F
7	1	- - - -	5	70	33	WEAK	2.5	12:00	105°F
8	10	+ - - +	55	70	100	WEAK	22.3	12:00	104°F
9		0 0 + 0	30	75	66	STRONG	23.5	12:00	106°F
10	18	0 0 0 0	30	75	66	NaCl	28.6	12:00	105°F
11		0 0 - 0	30	75	66	WEAK	8.0	12:00	105°F
12	17	0 0 0 0	30	75	66	NaCl	28.5	12:00	105°F
13		0 0 - 0	30	75	66	WEAK	7.5	12:00	105°F
14	19	0 0 0 0	30	75	66	NaCl	28.3	12:00	105°F
15		0 0 + 0	30	75	66	STRONG	24.8	12:00	104°F
16	11	- + - +	5	80	100	WEAK	0.0	12:00	103°F
17	7	- + + -	5	80	33	STRONG	3.6	12:00	104°F
18	8	+ + + -	55	80	33	STRONG	42.6	12:00	104°F
19	12	+ + - +	55	80	100	WEAK	3.9	12:00	103°F
20	15	- + + +	5	80	100	STRONG	2.2	12:00	104°F
21	4	+ + - -	55	80	33	WEAK	4.6	12:00	104°F
22	16	+ + + +	55	80	100	STRONG	40.5	12:00	103°F
23	3	- + - -	5	80	33	WEAK	0.0	12:00	104°F
24	9	- - - +	5	70	100	WEAK	0.0	12:00	106°F
25	5	- - + -	5	70	33	STRONG	4.8	12:00	106°F
26	14	+ - + +	55	70	100	STRONG	54.7	12:00	105°F
27	13	- - + +	5	70	100	STRONG	2.2	12:00	105°F
28	2	+ - - -	55	70	33	WEAK	19.5	12:00	106°F
29	6	+ - + -	55	70	33	STRONG	57.4	12:00	105°F
30	1	- - - -	5	70	33	WEAK	3.0	12:00	105°F
31	10	+ - - +	55	70	100	WEAK	26.4	12:00	105°F

222

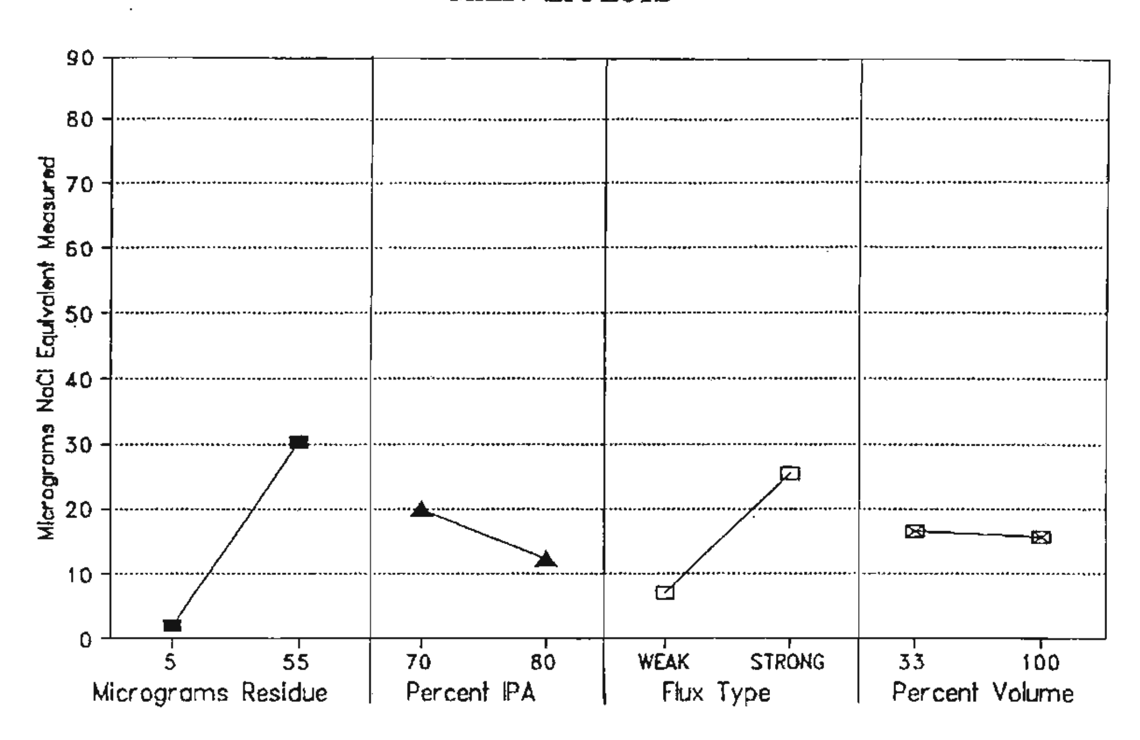
IPC-TR-583

TABLE OF EFFECTS
In Solution Testing

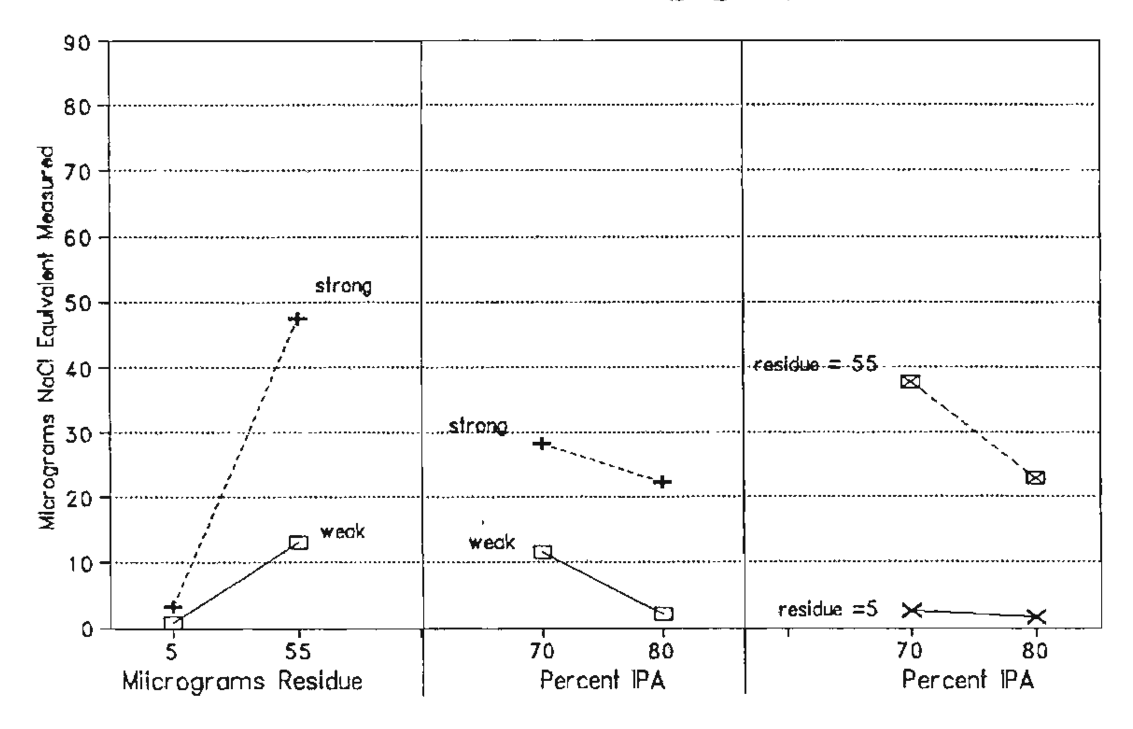
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN RESPONSE	30.89*	27.20*	26.38*	7.00*	25.33*	20.53*	16.10*	17.98*	13.75*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	51.18*	46.58*	47.26*	11.10*	30.57*	25.91*	28.31*	24.56*	24.11*
IPA (I)	-20.33*	-22.84*	-22.29*	-1.40	-10.0*	-7.60*	-7.85*	-7.19*	-6.69*
Flux (F)	-1.55	-1.49	-9.88*	2.23	10.07*	7.51*	18.46*	19.37*	5.16*
Volume (V)					4.7*	7.45*	-1.01	3.61*	
INTERACTIONS									
R*I	-14.13*	-15.18*	-18.48*	-1.00	-2.35*	-3.29	-6.86*	-3.29*	-4.28*
R*F	0.65	0.70	-8.55*	2.63*	8.07*	3.78*	16.15*	16.47*	4.84*
R*V					1.55*	3.89*	0.72	6.56*	
I*F	11.00*	10.52*	10.28*	1.48	5.75*	2.79	1.63	0.74	2.42*
I*V					1.77*	-1.63	-0.04	-2.88*	
F*V					-0.85	-2.16	-1.60	5.24*	
R*I*F	8.00*	8.06*	8.83*	0.98	5.15*	4.15*	1.05	0.10	1.77
R*I*V					-0.52	-1.39	-1.05	-1.89*	
R*F*V					-1.0	0.38	-1.04	5.35*	
I*F*V					0.87	2.49	0.90	-2.65*	
R*I*F*V					0.12	-0.33	1.04	-2.22*	
CENTER POINT	1.74*	5.42	-0.64	4.48*	2.91	2.00	-0.15	2.22*	1.41

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

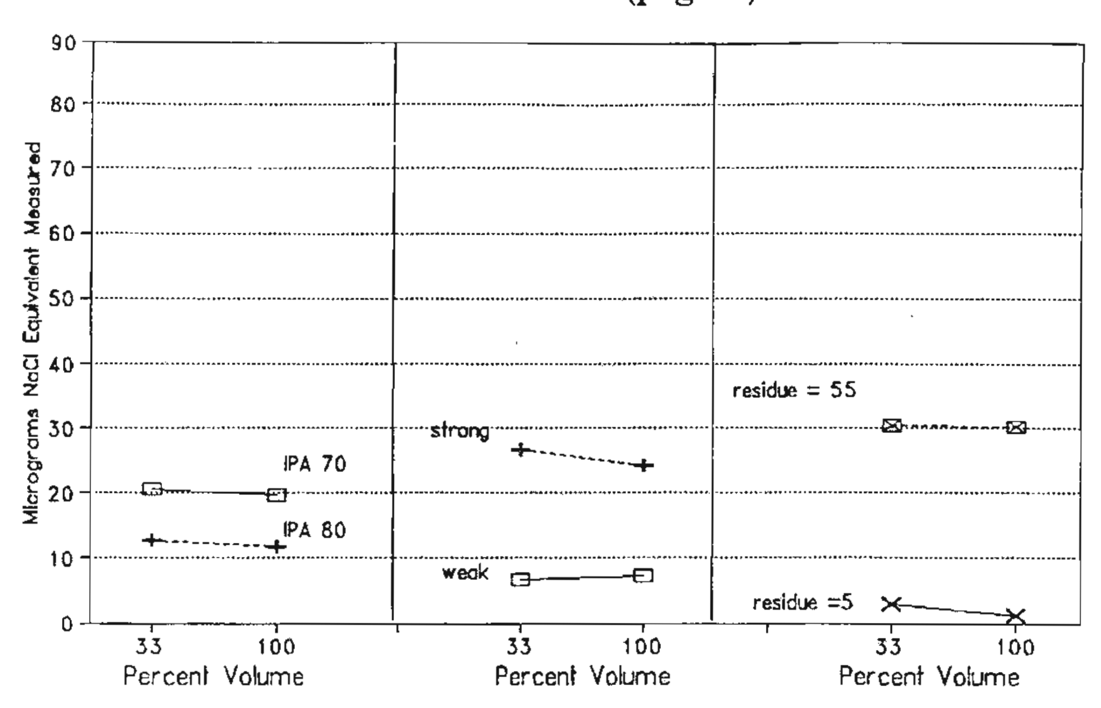
IONEX 2000
MAIN EFFECTS



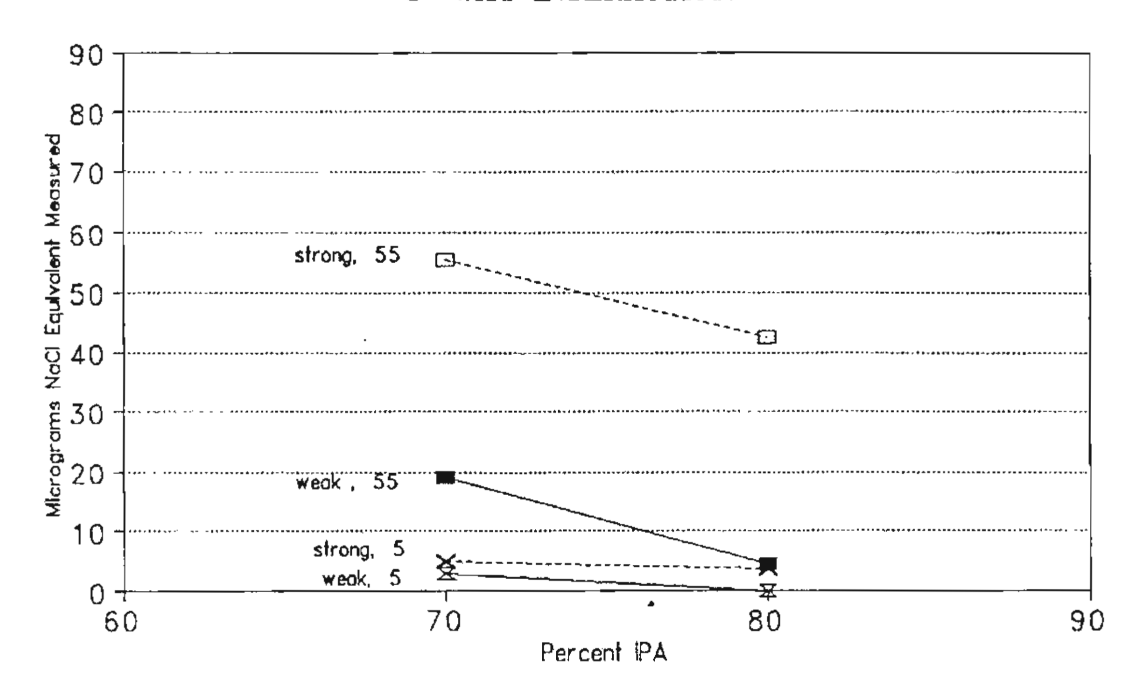
IONEX 2000
2-WAY INTERACTIONS (page 1)



IONEX 2000
2-WAY INTERACTIONS (page 2)



IONEX 2000
3-WAY INTERACTION



IONEX 2000
IN SOLUTION TEST

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	16.769	1.236	13.57	0.000	*
R	14.731	1.236	11.92	0.000	*
I	-2.475	1.236	-2.00	0.073	
F	8.881	1.236	7.19	0.000	*
V	-1.856	1.236	-1.50	0.164	
R*I	-1.888	1.236	-1.53	0.158	
R*F	7.944	1.236	6.43	0.000	*
R*V	-1.144	1.236	-0.93	0.376	
I*F	0.562	1.236	0.46	0.659	
I*V	-0.787	1.236	-0.64	0.538	
F*V	-0.644	1.236	-0.52	0.614	
R*I*F	0.050	1.236	0.04	0.969	
R*I*V	-1.150	1.236	-0.93	0.374	
R*F*V	-0.081	1.236	-0.07	0.949	
I*F*V	0.900	1.236	0.73	0.483	
R*I*F*V	0.687	1.236	0.56	0.590	
CTR.PT	-0.819	3.110	-0.26	0.798	
CTR*F	-0.681	3.110	-0.22	0.831	

s = 5.708 R-sq = 96.7% R-sq(adj) = 91.2%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	17	9691.50	570.09	17.50	0.000
Error	10	325.76	32.58		
Total	27	10017.26			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	5618.16
I	1	132.54
F	1	2193.03
V	1	46.69
R*I	1	81.33
R*F	1	1497.84
R*V	1	28.74
I*F	1	8.23
I*V	1	12.77
F*V	1	10.53
R*I*F	1	0.19
R*I*V	1	29.61
R*F*V	1	0.20
I*F*V	1	18.20
R*I*F*V	1	9.61
CTR.PT	1	2.26
CTR*F	1	1.56

Unusual Observations

Obs.	R	G	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
9	1.00	4.60	15.50	4.04	-10.90	-2.70R
25	1.00	26.40	15.50	4.04	10.90	2.70R

R denotes an obs. with a large st. resid.

IPC-TR-583

WESTEK

ICOM 5000

Static
Heated or Unheated
Spray above immersion

IPC-TR-583

ICOM 5000 RGS
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
"IN SOLUTION" TESTS

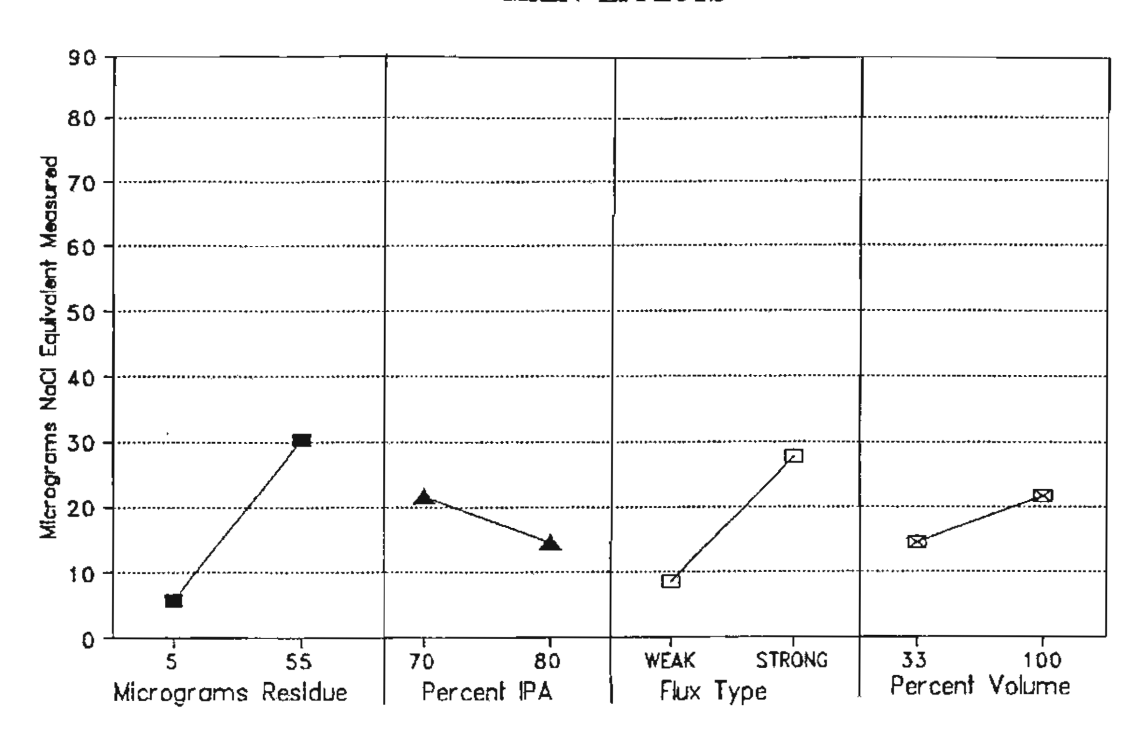
RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C D	A AMOUNT OF RESIDUE (μGR/IN^2)	B IPA (VOL%)	C TEST CELL VOLUME (ML/SQ IN.)	D FLUX TYPE	IONIC READING	TEST DURATION	TEST CELL TEMP.
1	5	- - + -	5	70	320	WEAK	6.80	15:00	78°F
2	10	+ - - +	55	70	160	STRONG	36.00	15:00	85°F
3	9	- - - +	5	70	160	STRONG	7.80	15:00	91°F
4	6	+ - + -	55	70	320	WEAK	18.79	15:00	94°F
5	7	- + + -	5	80	320	WEAK	2.05	15:00	73°F
6	15	- + + +	5	80	320	STRONG	5.09	15:00	83°F
7	4	+ + - -	55	80	160	WEAK	4.91	15:00	90°F
8	12	+ + - +	55	80	160	STRONG	36.00	15:00	83°F
9		0 0 0 -	30	75	160	WEAK	8.85	15:00	75°F
10	18	0 0 0 0	30	75	160	NaCl	27.37	15:00	84°F
11		0 0 0 +	30	75	160	STRONG	29.29	15:00	91°F
12	19	0 0 0 0	30	75	160	NaCl	34.02	15:00	96°F
13		0 0 0 +	30	75	160	STRONG	34.02	15:00	101°F
14	17	0 0 0 0	30	75	160	NaCl	34.02	15:00	103°F
15		0 0 0 -	30	75	160	WEAK	8.66	15:00	102°F
16	14	+ - + +	55	70	320	STRONG	70.00	15:00	87°F
17	2	+ - - -	55	70	160	WEAK	16.46	15:00	94°F
18	1	- - - -	5	70	160	WEAK	5.85	15:00	98°F
19	13	- - + +	5	70	320	STRONG	9.77	15:00	98°F
20	3	- + - -	5	80	160	WEAK	1.88	15:00	101°F
21	11	- + - +	5	80	160	STRONG	5.96	15:00	92°F
22	8	+ + + -	55	80	320	WEAK	8.32	15:00	97°F
23	16	+ + + +	55	80	320	STRONG	50.73	15:00	72°F
24	5	- - + -	5	70	320	WEAK	7.58	15:00	76°F
25	10	+ - - +	55	70	160	STRONG	36.00	15:00	85°F
26	9	- - - +	5	70	160	STRONG	7.80	15:00	91°F
27	6	+ - + -	55	70	320	WEAK	20.30	15:00	96°F
28	7	- + + -	5	80	320	WEAK	2.14	15:00	81°F
29	11	- + - +	5	80	320	STRONG	5.09	15:00	88°F
30	4	+ + - -	55	80	160	WEAK	5.16	15:00	95°F
31	12	+ + - +	55	80	160	STRONG	36.00	15:00	99°F

TABLE OF EFFECTS
In Solution Testing

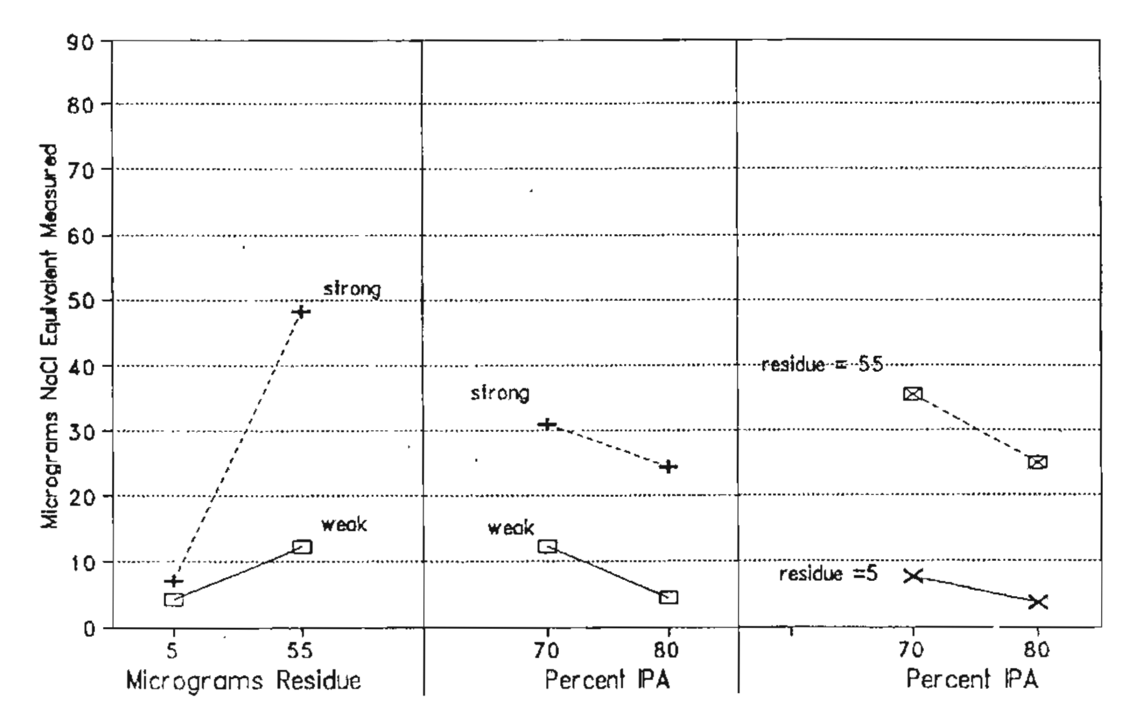
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN RESPONSE	30.89*	27.20*	26.38*	7.00*	25.33*	20.53*	16.10*	17.98*	13.75*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	51.18*	46.58*	47.26*	11.10*	30.57*	25.91*	28.31*	24.56*	24.11*
IPA (I)	-20.33*	-22.84*	-22.29*	-1.40	-10.0*	-7.60*	-7.85*	-7.19*	-6.69*
Flux (F)	-1.55	-1.49	-9.88*	2.23	10.07*	7.51*	18.46*	19.37*	5.16*
Volume (V)					4.7*	7.45*	-1.01	3.61*	
INTERACTIONS									
R*I	-14.13*	-15.18*	-18.48*	-1.00	-2.35*	-3.29	-6.86*	-3.29*	-4.28*
R*F	0.65	0.70	-8.55*	2.63*	8.07*	3.78*	16.15*	16.47*	4.84*
R*V					1.55*	3.89*	0.72	6.56*	
I*F	11.00*	10.52*	10.28*	1.48	5.75*	2.79	1.63	0.74	2.42*
I*V					1.77*	-1.63	-0.04	-2.88*	
F*V					-0.85	-2.16	-1.60	5.24*	
R*I*F	8.00*	8.06*	8.83*	0.98	5.15*	4.15*	1.05	0.10	1.77
R*I*V					-0.52	-1.39	-1.05	-1.89*	
R*F*V					-1.0	0.38	-1.04	5.35*	
I*F*V					0.87	2.49	0.90	-2.65*	
R*I*F*V					0.12	-0.33	1.04	-2.22*	
CENTER POINT	1.74*	5.42	-0.64	4.48*	2.91	2.00	-0.15	2.22*	1.41

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

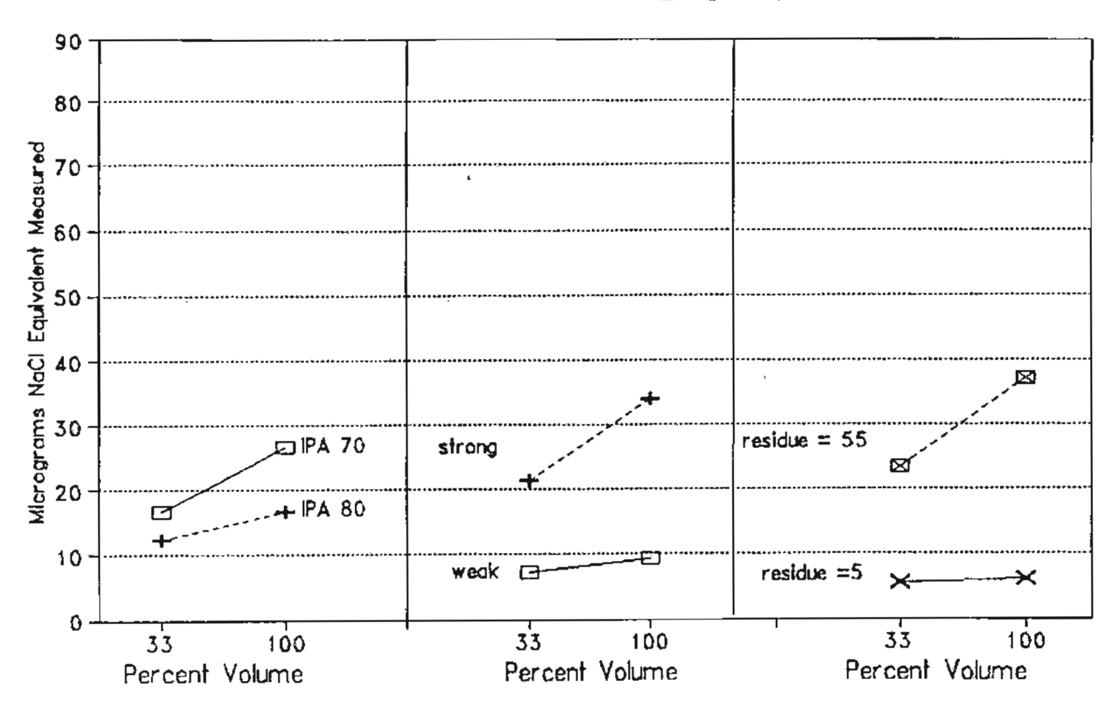
ICOM 5000
MAIN EFFECTS



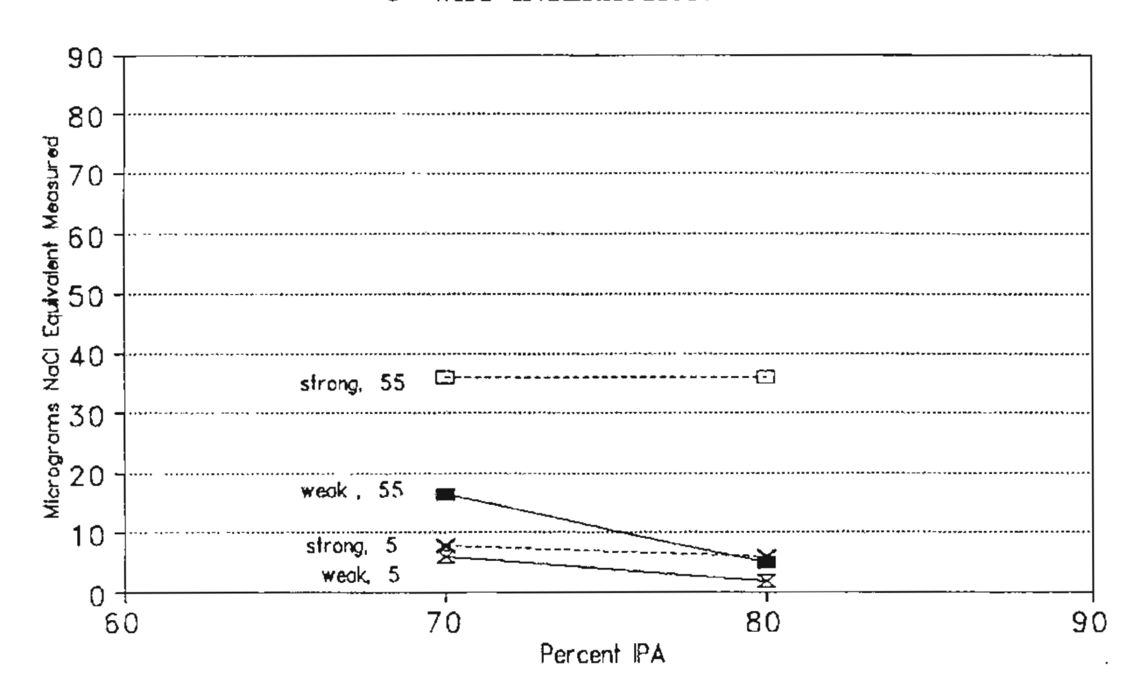
ICOM 5000
2-WAY INTERACTIONS (page 1)



ICOM 5000
2-WAY INTERACTIONS (page 2)



ICOM 5000
3-WAY INTERACTION



ICOM 5000
IN SOLUTION TEST

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	17.9828	0.2438	73.75	0.000	*
R	12.2784	0.2438	50.36	0.000	*
I	-3.5941	0.2438	-14.74	0.000	*
F	9.6859	0.2438	39.72	0.000	*
V	3.6097	0.2438	14.80	0.000	*
R*I	-1.6459	0.2438	-6.75	0.000	*
R*F	8.2353	0.2438	33.77	0.000	*
R*V	3.2778	0.2438	13.44	0.000	*
I*F	0.3703	0.2438	1.52	0.160	
I*V	-1.4397	0.2438	-5.90	0.000	*
F*V	2.6191	0.2438	10.74	0.000	*
R*I*F	0.0522	0.2438	0.21	0.835	
R*I*V	-0.9441	0.2438	-3.87	0.003	*
R*F*V	2.6759	0.2438	10.97	0.000	*
I*F*V	-1.3241	0.2438	-5.43	0.000	*
R*I*F*V	-1.1097	0.2438	-4.55	0.000	*
CTR.PT	2.2222	0.6136	3.62	0.005	*
CTR*F	1.7641	0.6136	2.87	0.017	*

s = 1.126   R-sq = 99.8%   R-sq(adj) = 99.6%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	17	7943.42	467.26	368.38	0.000
Error	10	12.68	1.27		
Total	27	7956.10			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	3056.88
I	1	265.47
F	1	2264.40
V	1	339.87
R*I	1	13.27
R*F	1	1284.51
R*V	1	247.53
I*F	1	2.68
I*V	1	47.79
F*V	1	149.70
R*I*F	1	4.18
R*I*V	1	16.57
R*F*V	1	158.26
I*F*V	1	40.96
R*I*F*V	1	24.22
CTR.PT	1	16.63
CTR*F	1	10.48

Unusual Observations

Obs.	R	H	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
19	0.00	29.290	31.655	0.796	-2.365	-2.97R
20	0.00	34.020	31.655	0.796	2.365	2.97R

R denotes an obs. with a large st. resid.

PROTONIQUE

CONTAMINOMETER CM5 (static)

Static
Unheated
No spray

CONTAMINOMETER CM5/STATIC MODE
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
"IN SOLUTION" TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C	A AMOUNT OF RESIDUE ($\mu GR/IN^2$)	B IPA (VOL%)	C FLUX TYPE	IONIC READING	TEST DURATION	TEST CELL TEMP.
1	6	+ - +	55	70	STRONG	33.9	3:00	69°F
2	2	+ - -	55	70	WEAK	27.4	3:00	70°F
3	5	- - +	5	70	STRONG	2.6	3:00	71°F
4	1	- - -	5	70	WEAK	2.3	3:00	71°F
5		0 0 +	30	75	STRONG	15.5	3:00	70°F
6	9	0 0 0	30	75	NaCl	16.8	3:00	70°F
7		0 0 -	30	75	WEAK	13.2	3:00	71°F
8	10	0 0 0	30	75	NaCl	17.4	3:00	72°F
9		0 0 +	30	75	STRONG	19.0	3:00	72°F
10	11	0 0 0	30	75	NaCl	17.1	3:00	72°F
11		0 0 -	30	75	WEAK	12.9	3:00	73°F
12	7	- + +	5	80	STRONG	1.0	3:00	71°F
13	8	+ + +	55	80	WEAK	27.4	3:00	71°F
14	4	+ + -	55	80	STRONG	13.2	3:00	72°F
15	3	- + -	5	80	WEAK	0.0	3:00	72°F
16	6	+ - +	55	70	STRONG	34.5	3:00	72°F
17	2	+ - -	55	70	WEAK	29.3	3:00	73°F
18	5	- - +	5	70	WEAK	2.9	3:00	73°F
19	1	- - -	5	70	STRONG	3.9	3:00	73°F

IPC-TR-583

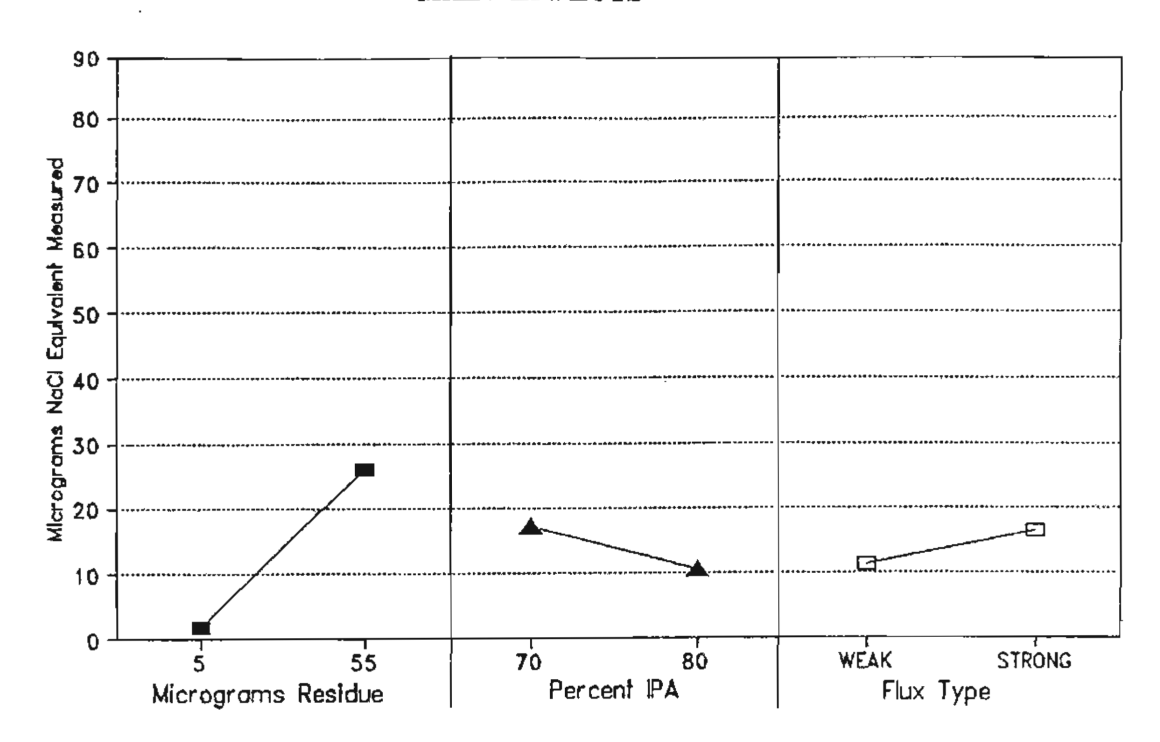
TABLE OF EFFECTS
In Solution Testing

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN RESPONSE	30.89*	27.20*	26.38*	7.00*	25.33*	20.53*	16.10*	17.98*	13.75*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	51.18*	46.58*	47.26*	11.10*	30.57*	25.91*	28.31*	24.56*	24.11*
IPA (I)	-20.33*	-22.84*	-22.29*	-1.40	-10.0*	-7.60*	-7.85*	-7.19*	-6.69*
Flux (F)	-1.55	-1.49	-9.88*	2.23	10.07*	7.51*	18.46*	19.37*	5.16*
Volume (V)					4.7*	7.45*	-1.01	3.61*	
INTERACTIONS									
R*I	-14.13*	-15.18*	-18.48*	-1.00	-2.35*	-3.29	-6.86*	-3.29*	-4.28*
R*F	0.65	0.70	-8.55*	2.63*	8.07*	3.78*	16.15*	16.47*	4.84*
R*V					1.55*	3.89*	0.72	6.56*	
I*F	11.00*	10.52*	10.28*	1.48	5.75*	2.79	1.63	0.74	2.42*
I*V					1.77*	-1.63	-0.04	-2.88*	
F*V					-0.85	-2.16	-1.60	5.24*	
R*I*F	8.00*	8.06*	8.83*	0.98	5.15*	4.15*	1.05	0.10	1.77
R*I*V					-0.52	-1.39	-1.05	-1.89*	
R*F*V					-1.0	0.38	-1.04	5.35*	
I*F*V					0.87	2.49	0.90	-2.65*	
R*I*F*V					0.12	-0.33	1.04	-2.22*	
CENTER POINT	1.74*	5.42	-0.64	4.48*	2.91	2.00	-0.15	2.22*	1.41

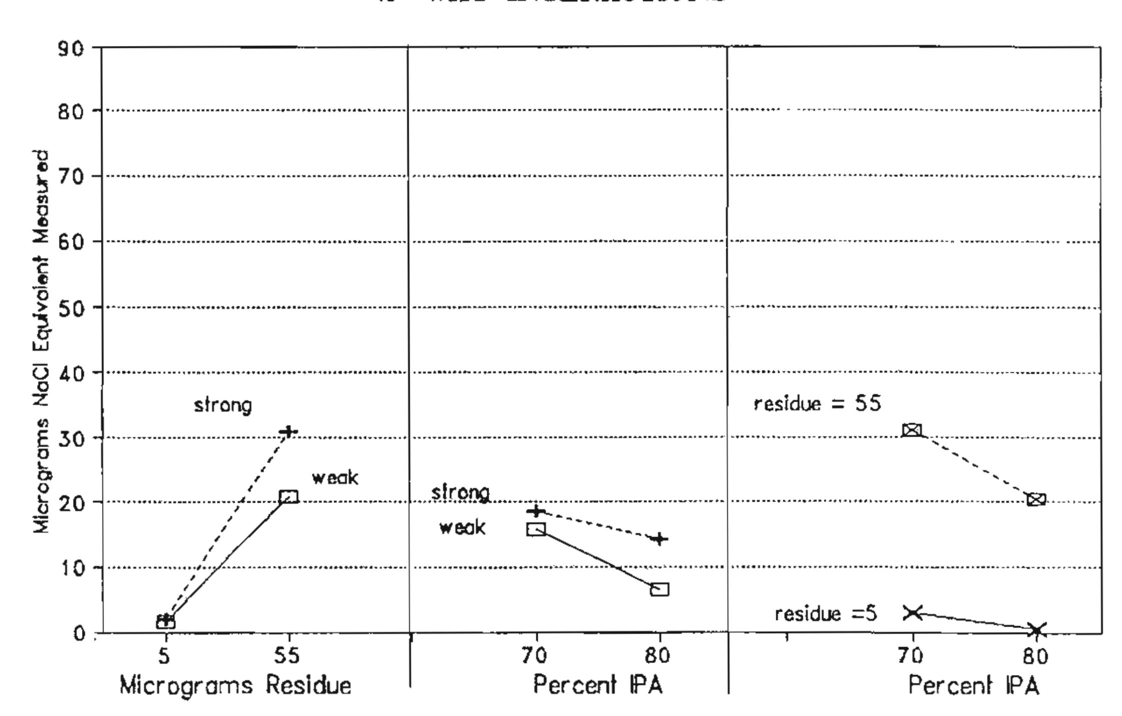
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s). Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

234

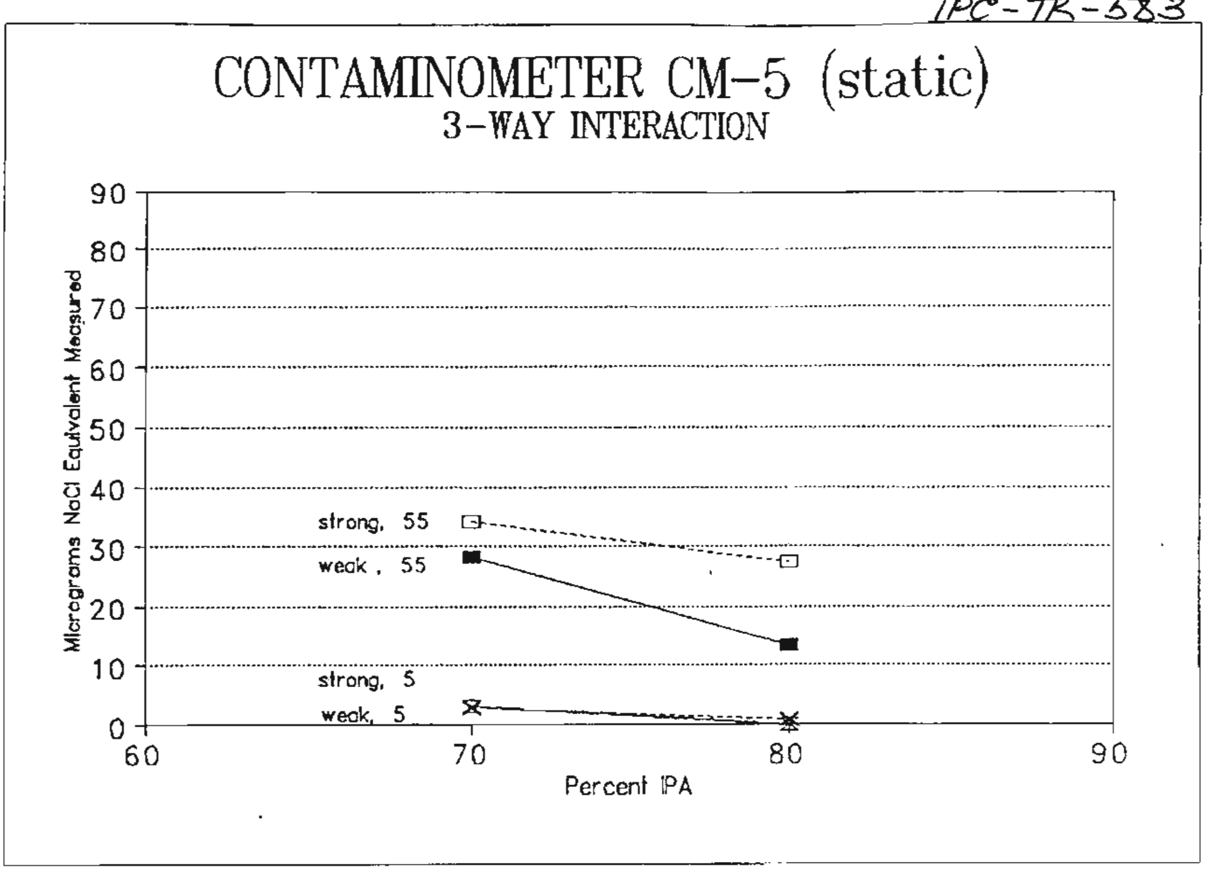
CONTAMINOMETER CM-5 (static)
MAIN EFFECTS



CONTAMINOMETER CM-5 (static)
2-WAY INTERACTIONS




IPC-TR-583


CONTAMINOMETER CM-5 (static)
3-WAY INTERACTION
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
60
70
80
90
Percent IPA
strong, 55
weak , 55
strong, 5
weak, 5

CONTAMINOMETER CM-5 (static)
IN SOLUTION TEST

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	13.7463	0.3912	35.14	0.000	*
R	12.0525	0.3912	30.81	0.000	*
I	-3.3462	0.3912	-8.55	0.000	*
F	2.5800	0.3912	6.60	0.001	*
R*I	-2.1375	0.3912	-5.46	0.002	*
R*F	2.4187	0.3912	6.18	0.001	*
I*F	1.2100	0.3912	3.09	0.021	*
R*I*F	0.8863	0.3912	2.27	0.064	
CTR.PT	1.4113	0.7490	1.88	0.109	
CTR*F	-0.4825	0.7490	-0.64	0.543	

s = 1.278 R-sq = 99.6% R-sq(adj) = 98.9%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	9	2276.33	252.93	154.97	0.000
Error	6	9.79	1.63		
Total	15	2286.12			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	1955.34
I	1	113.91
F	1	74.43
R*I	1	48.73
R*F	1	54.10
I*F	1	14.96
R*I*F	1	8.38
CTR.PT	1	5.79
CTR*F	1	0.68

STATIC VERSUS DYNAMIC

Though extreme care was taken to control all of the operating parameters during testing, the results still show a wide disparity between the systems. In general, however, all of the static systems displayed comparable results as a group, while all of the dynamic systems displayed similar results as a group.

There was a definite disagreement, or separation, between the dynamic family and the static family, particularly when measuring flux residues. Two theories were derived to explain this observation: The first theorized that the dynamic systems were measuring high due to the deionizing columns not removing the ions on the first pass, possibly allowing ions back into the test cell to be counted a second time. Thus, Theory 1 postulates why the results for the dynamic systems were so high. The second theory stated that if solvent resistivity controls the ability of flux constituents to ionize, and since static systems use a fixed volume of solvent that is not regenerated in the test mode, the ionizing ability of the process is limited. In other words, once the resistivity of the solvent is depleted, the solvent is not as aggressive and may not ionize material that was removed from the PWA. Theory 2 proposes that the lower numbers for the static systems were a result of the contamination not being completely ionized and therefore not measured. The dynamic systems, according to Theory 2, are constantly replacing the contaminated, low resistance solvent with clean, aggressive, high resistance solvent.

To check the first theory, two dynamic systems were placed next to each other and some "creative plumbing" was done. The two systems were mated together (see Figure 17) to perform a mutual check. Instead of sending the solvent from the System #1 deionizing columns back into the System #1 test cell, the solvent was diverted into the System #2 test cell so that it could be measured for ionic contamination. If ionic

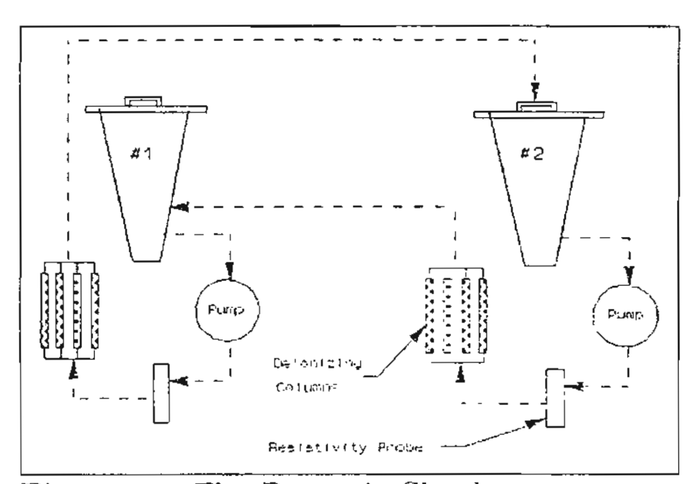


Figure 17 The Dynamic Check

contamination could be introduced into System #1, and some amount was also measured in System #2, then it would be known that ions were indeed escaping the columns and being measured twice.

The two systems were allowed to operate simultaneously for about one hour to allow all the 75% IPA/water to mix and the temperature to stabilize. Four runs were made, introducing weakly ionizable flux to System #1 twice and to System #2 twice. Results showed that less than 0.5 $\mu g/in^2$ was measured in System #1 when contamination was introduced into System #2, and no ions were measured in System #2 when contamination was introduced to System #1. This implies that the contamination was not being measured twice and that the columns in the dynamic systems had adequately removed ions from the solvent during testing.

To test the second theory, two static systems were randomly selected and set up to perform normal tests with 75% IPA/water. The test was set up so that 80, 40, 20, 10 and 5 microliter samples of weakly ionizable flux were added to a set volume of solvent. Theoretically, the ionic results should coincide with the volume of sample being injected. By doubling the volume of contaminant introduced to the test cells, the resulting ionic contamination measured should also double. This testing was also run on two dynamic systems to verify this theory, and also to verify the conclusions drawn in the previous test. The micrograms of ionic contamination versus the microliters of weak flux are given in Table 5 and plotted in Figure 18. There is no way of knowing how much NaCl equivalent is actually contained in 5 microliters of weak flux, but we do know that there is half as much NaCl equivalent in 5 microliters as there is in 10 microliters, and there is half as much NaCl equivalent in 10 microliters as there is in 20 microliters, and so on. Since the results for all four systems were closest and the experimental error smallest at 5 microliters, the average was taken and used as an *"expected"* result. If we assume that 5 microliters of weakly ionizable flux equals 5.87 (+/- 1.5) micrograms of NaCl equivalent, then

TABLE 5
FLUX VOLUME VS IONIC RESULTS

μliters	5	10	20	40	80
Static #1	5.30	8.20	14.90	27.00	49.10
Static #2	6.40	10.20	16.70	28.50	48.20
"Expected"	5.87	11.74	23.48	46.96	93.92
Dynamic #1	4.54	11.88	24.97	49.63	89.34
Dynamic #2	7.25	12.14	24.94	48.12	100.3

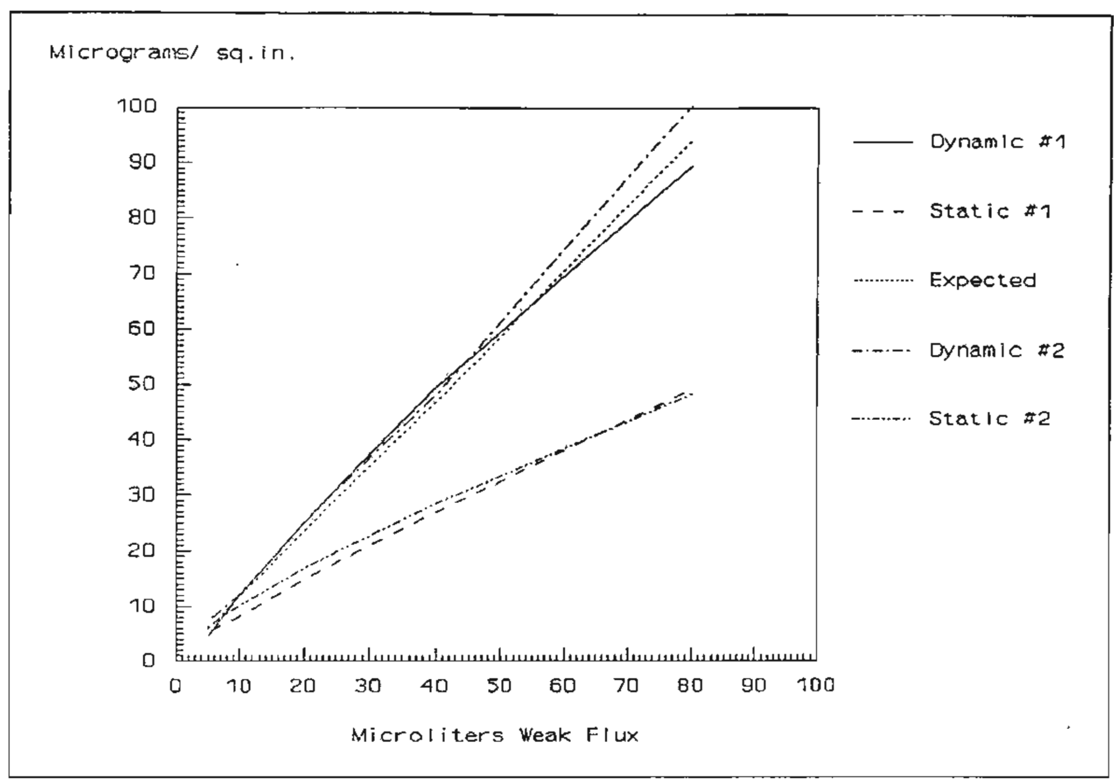


Figure 18 Ionic Results vs Flux Volume

10 microliters of flux *should* equal 11.74 micrograms NaCl equivalent, 20 microliters of flux *should* equal 23.48 micrograms NaCl, etc. If this average is a true representative of 5 microliters, then it could be seen that the data for the dynamic systems was consistent with what was expected. The results for the static systems, however, were not as high as expected. It appears that the ability to ionize contamination may be hampered by the fixed volume associated with the static process.

BOARD AND COVER PLATE TEST RESULTS

TEST COUPON GENERAL TRENDS AND OBSERVATIONS

In the dynamic mode, the Contaminometer CM-5 exhibited behavior outside that of all other dynamic systems and is not included in the discussions or conclusions in this report. After the data was analyzed and made available to Protonique, it was realized that an inappropriate model was sent to the EMPF for this study. The model delivered was engineered for larger (greater than 45 in^2) surface areas and was not sensitive enough for the small surface area that the test program required. Protonique requested that a more concentrated flux be used along with a larger surface area that equated to the same 55, 30 and 5 $\mu g/in^2$. The ICTG, however, decided that the test program could not be modified for one system without compromising the statistical design of the test. Time did not allow Protonique the opportunity to provide a different model more suited to our test needs.

One of the first observations made was with the measurements taken at 30 $\mu g/in^2$ that were supposed to be the center points of the "main effects" graphs. When the raw data and the graphs were examined, the data of the center points were much higher than expected. Unfortunately, this observation was not made until most, if not all, of the laboratory work was complete. An investigation was made comparing the three existing flux dilutions along with three fresh flux dilutions. The Ionograph 500M was randomly selected to conduct the test. The system was run at 80% alcohol (because that was what was in the system at the time) and the standards were run. Results demonstrated that the 5 $\mu g/in^2$, old versus new standards were similar and the 55 $\mu g/in^2$, old versus new were similar. The 30 $\mu g/in^2$ samples, however, were very different. The average measurement for the old flux was 32.45 $\mu g/in^2$, and the new flux dilution was only 12.65 $\mu g/in^2$.

Additional testing was performed using the Ionograph 500M using three different alcohol concentrations and three fresh flux dilutions. Both "in solution" and baked coupon testing were executed, and again the new dilutions were in line with what would be expected, indicating the 30 $\mu g/in^2$ flux used during coupon testing was either contaminated or diluted incorrectly.

In comparing the weakly ionizable flux to the strongly ionizable flux during "in solution" testing, three out of the four dynamic systems showed the variable to be insignificant, while the remaining dynamic and all of the static systems showed that the variable was significant. Though the weakly ionizable

and strongly ionizable fluxes appeared to be different from each other, the trends that occurred when altering other variables were similar. As mentioned earlier in this document, however, once the strongly ionizable fluxes were introduced to the test coupons and baked, a wide variance in the data began to appear. Because of the wide variances and the similarities in response to weakly ionizable flux when other variables were altered, it was decided by the ICTG not to perform extensive testing on the strongly ionizable flux.

Since only the weakly ionizable flux was used in this portion of the test, the "in solution" table of effects was recalculated, omitting the strong flux data. The weakly ionizable "in solution" data could then be inserted into the individual system graphs for an easy comparison with the test coupon data. The omission of the strong flux data did not change any of the trends noted earlier.

Weakly ionizable flux was applied to the test boards and processed as per the procedure outlined in this document. The residues were made from the same stock solution used in the "in solution" testing; however, fresh dilutions were made for this portion of the test. The ionic results from all of the systems are plotted on common graphs (ALL SYSTEMS) on the next few pages so that trends can be more easily detected. The top graphs (BOARD TEST w/Blocks) represent measurements that were taken from the test coupon while the standoff cover plate was still in place. The cover plates were then removed and both the cover plate and the test board were tested for additional residue. The "before" and "after" were added together to get a total, which can be seen on the bottom graph (BOARD TEST Total).

Again, the most significant variable that effected the final results was the residue quantity. The change in residue was noticed in the dynamic systems more than the static systems and the separation of the dynamic family versus the static family continued.

The IPA effect was the next most significant, with the same downward trend noted as the alcohol content shifted from 70% to 80%. The dynamic systems were more affected than the static systems and the Ionograph 500M seemed to be particularly effected at 80% IPA. These readings were questioned at the time of testing, but a repeat of the run yielded the same results.

The graphs plotting the standoff effect can be used to compare residue removed from under a 3 mil standoff versus residue removed from under a 9 mil standoff. They also compare residues measured before versus after removal

of the cover plate. Surprisingly, the channel depth did not have as big of an effect as anticipated. Examining the graph, we see that the 3 mil lines are close to being parallel to the 9 mil lines, indicating the static systems were equally effective at removing contamination from under both standoffs. If the two lines were perfectly horizontal, this would indicate 100% removal of the residue prior to the cover plate being removed. The slope of the lines, however, indicates that there was some residue being left under both standoff heights.

Standoff height seemed to affect the dynamic systems more than the static systems. Where the 3 mil versus 9 mil lines were nearly parallel for the static systems, the dynamic data sloped differently. The 9 mil lines were more horizontal, meaning most of the residue was removed and measured prior to the plate removal. The 3 mil lines are more sloped, indicating more residue was detected under the 3 mil standoff after the plate was removed. This observance is supported by comparing the residue graphs "board w/blocks" versus "board total". The "total" graph shows that when all residue was measured, all dynamic systems read similar. Examining the "board w/block" graph shows that the Ionograph 500M was most effected. Statistically, the only system that measured the channel depth as being significant was the Ionograph 500M.

The volume effect was perhaps the most unusual observation made in this study. When the volume was increased during the "in solution" testing, the results also tended to increase. But for some reason, when the volume was increased during the board testing, the ionic results tended to drop. This trend was noted on most of the systems, although most significant with the Omegameter 600SMD. At this point, there is no explanation for this observance.

Only the Omegameter 600SMD and the Icom 5000 were capable of testing in either the "heat on" or "heat off" modes. Though statistically temperature was significant only on the Omegameter 600SMD, both systems showed higher results when the heat was on. The data also showed that the heat influenced the 3 mil standoff more than the 9 mil standoff.

IPC-TR-583

TABLE OF EFFECTS
In Solution (Weak Flux Only)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Ionograph 500M	Ionograph 500SMD	CM-5 dynamic	Omegameter 600R	Omegameter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN RESPONSE	31.66	27.58*	31.32*	5.89*	20.30*	16.10*	6.87*	8.30*	11.17*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	50.53*	47.98*	55.80*	8.48*	22.50*	22.14*	12.16*	8.09*	19.27*
IPA (I)	-31.33*	-32.63*	-32.57*	-2.88	-15.80*	-10.39*	-9.49*	-7.93*	-9.11*
Volume (V)					5.55*	9.61*	0.59	1.98*	
INTERACTIONS									
R*I	-22.13*	-26.34*	-27.31*	-1.98	-7.50*	-7.44*	-7.91*	-3.40*	-6.05*
R*V					2.77*	3.51	1.76x	1.20*	
I*V					-2.65*	-4.11x	-0.94	-0.23	
R*I*V						-1.06	-2.11x	0.33	
CENTER POINT	4.94*	5.89	0.53	6.41*	2.15*	2.38	0.88	0.46	1.89

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

245

TABLE OF EFFECTS (Board Tests with Blocks)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	32.59*	18.77*	27.21*	3.81*	15.33*	14.68*	10.73*	12.81*	9.29*
MAIN EFFECTS									
Residue (R)	50.88*	24.01*	37.81*	5.26*	12.28*	16.60*	10.19*	7.21*	11.83*
IPA (I)	-21.88*	-35.43*	-26.69*	-1.41	-20.51*	-11.30*		-4.39*	2.38
Volume (V)					-2.17	-4.63*	-0.93	3.18*	
Channel (C)	5.12	10.27*	0.12	1.11	1.89	0.88	0.05	-1.99	-1.05
Heat (H)						6.94*		2.12	
INTERACTION									
R*I	-17.27*	-22.08*	-20.52*	-1.96	-6.18*	-4.69*	-4.99*	-1.37	0.13
R*V					-3.92x	0.81	0.13	-0.49	
R*C	1.28	7.14	0.16	0.26	0.24	-3.16*	0.13	0.06	0.85
R*H						3.10*		1.86	
I*V					-7.98*	-3.39*	-0.48	1.54	
I*C	1.68	-8.29	-1.70	0.69	1.26	0.64	1.55	-0.89	-3.20
I*H						-0.30		2.88x	
V*C					0.29	1.19	-0.81	1.48	
V*H						1.28	0.13	-1.60	
C*H						-3.73*		-1.82	
R*I*V					-2.18		0.33		
R*I*C	3.83	-5.34	4.44	0.24	-1.14		0.34		0.10
R*V*C					1.92		0.56		
I*V*C					-3.44x		-0.74		
CENTER	53.68*	48.85*	6.48	2.36	16.11*	-0.05	10.00*	1.13	2.45

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

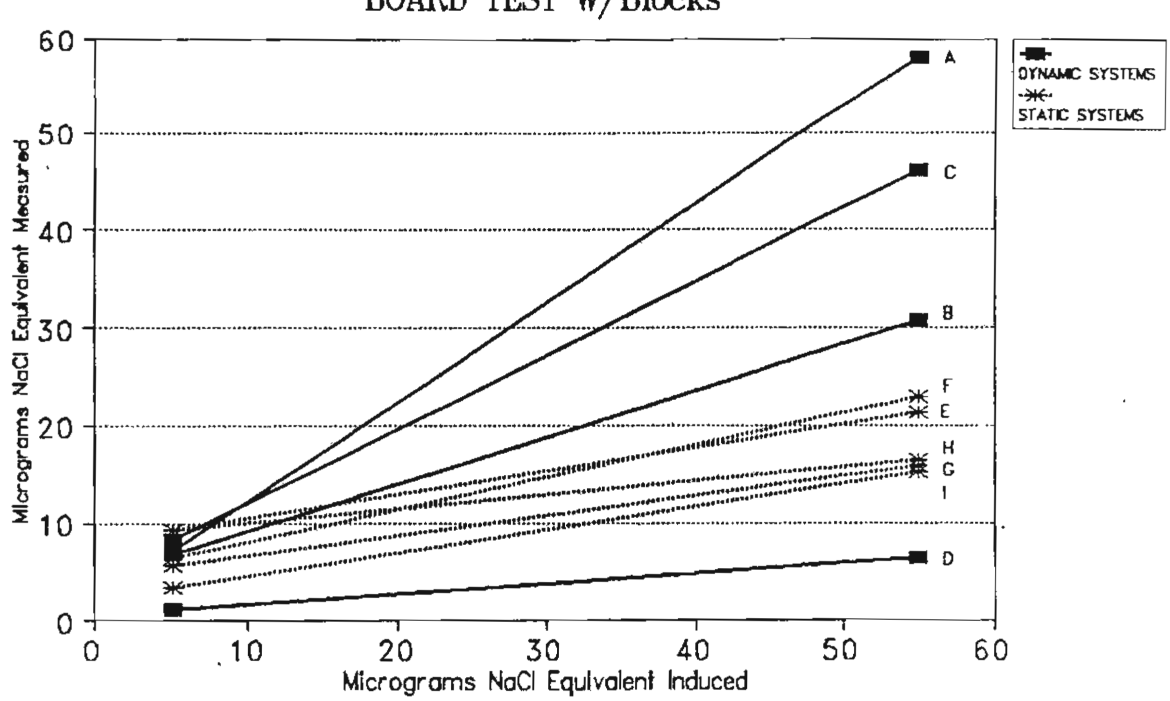
IPC-TR-583

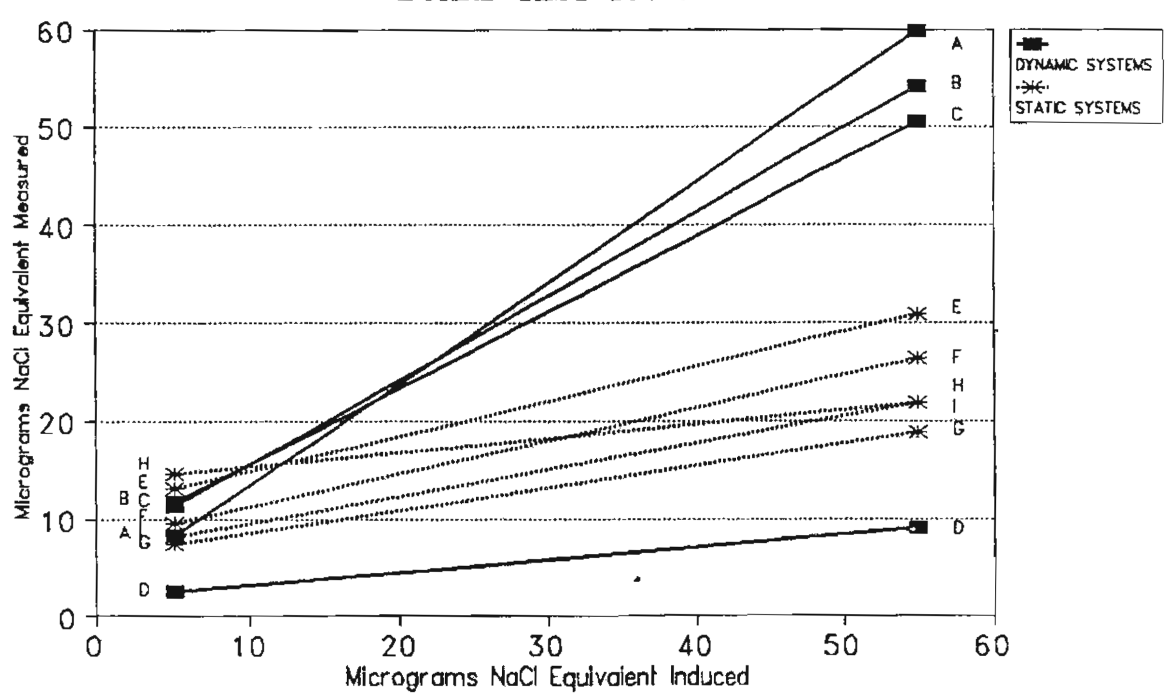
TABLE OF EFFECTS (Board Tests: Total)

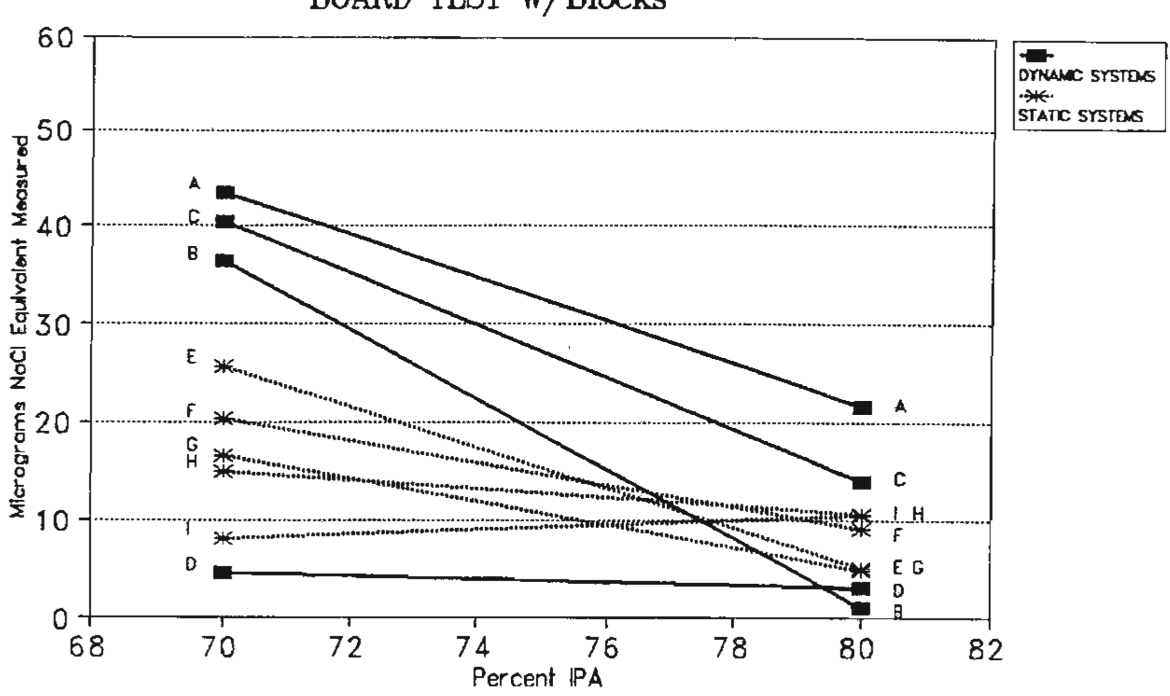
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Ionograph 500M	Ionograph 500SMD	CM-5 dynamic	Omegameter 600R	Omegameter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	34.01*	32.66*	31.03*	5.68*	22.01*	17.93*	13.14*	18.27*	15.06*
MAIN									
Residue (R)	51.55*	42.86*	38.89*	6.59*	17.82*	17.01*	11.33*	7.33*	13.66*
IPA (I)	-23.88*	-42.32*	-31.83*	-0.61	-27.52*	-14.33*		-4.79*	6.29x
Volume (V)					-1.23	-10.13*	-2.23	3.88	
Channel (C)	2.88	-1.90	-2.79	0.49	-0.37	0.69	0.12	-1.00	-4.49
Heat (H)						6.69*		1.61	
INTERACTION									
R*I	-18.80*	-23.04*	-20.27*	-1.54	-6.37x	-4.13*	-5.68*	-2.46	-3.66
R*V					-2.48	0.07	-0.01	-0.35	
R*C	0.00	-3.50	-0.30	-0.44	-1.09	-3.11x	-0.81	-1.21	4.51
R*H						3.14x		2.72	
I*V					-6.72x	-1.34	0.98	1.78	
I*C	3.38	-6.65	0.06	0.26	-0.03	0.43	1.63	-0.58	-2.31
I*H						0.13		4.85	
V*C					1.56	1.53	-1.54	2.20	
V*H						1.03		-3.12	
C*H						-3.94*		-2.53	
R*I*V					-2.42		1.96		
R*I*C	4.77	-3.11	3.99	-0.31	-2.36		-0.24		6.09x
R*V*C					3.58		0.36		
I*V*C					-4.41		-0.11		
CENTER	53.69*	47.23*	5.84	1.79	9.72x	1.53	8.26*	0.15	1.48

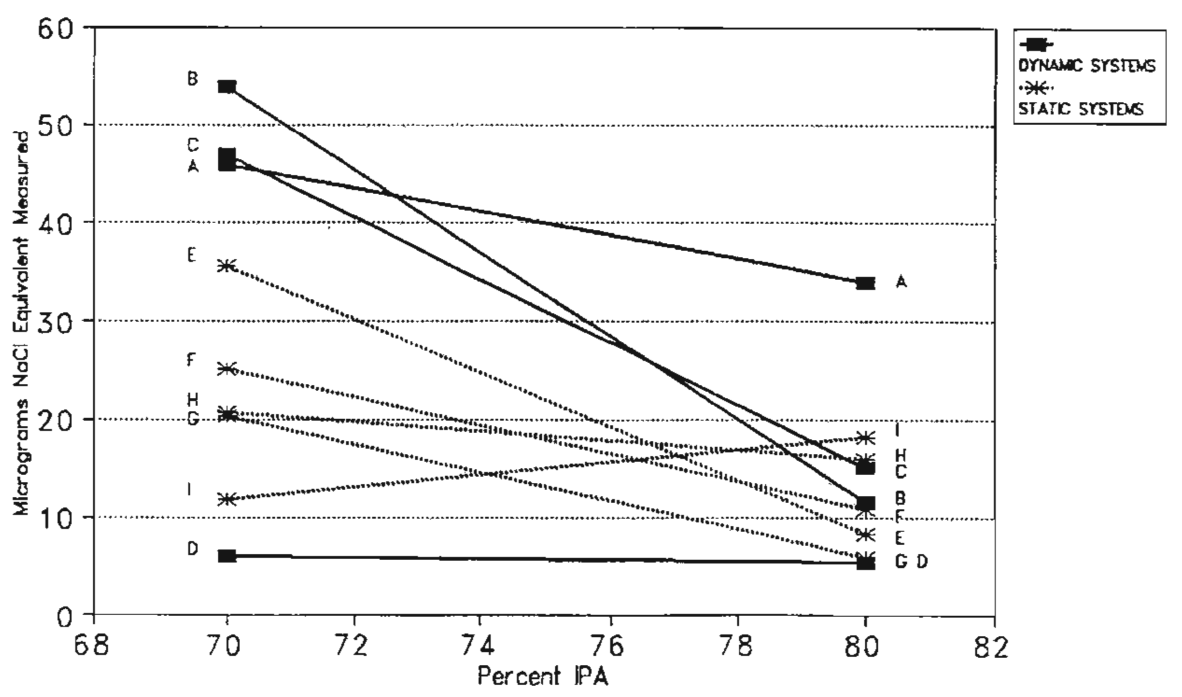
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

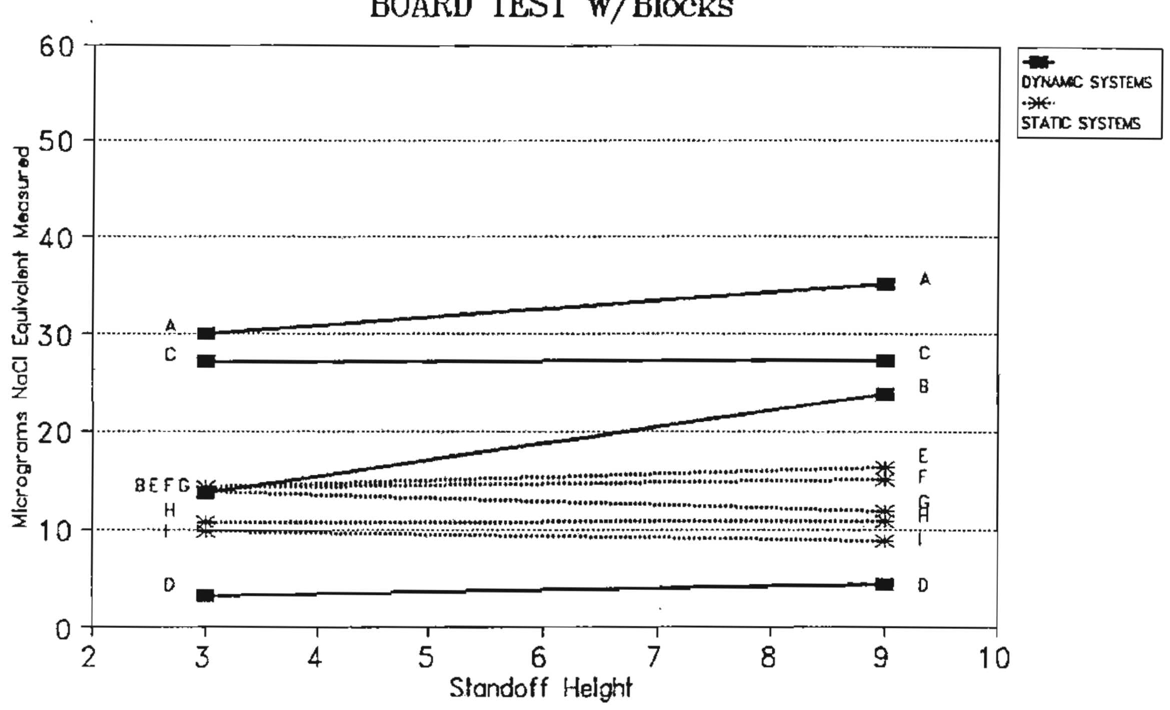
247

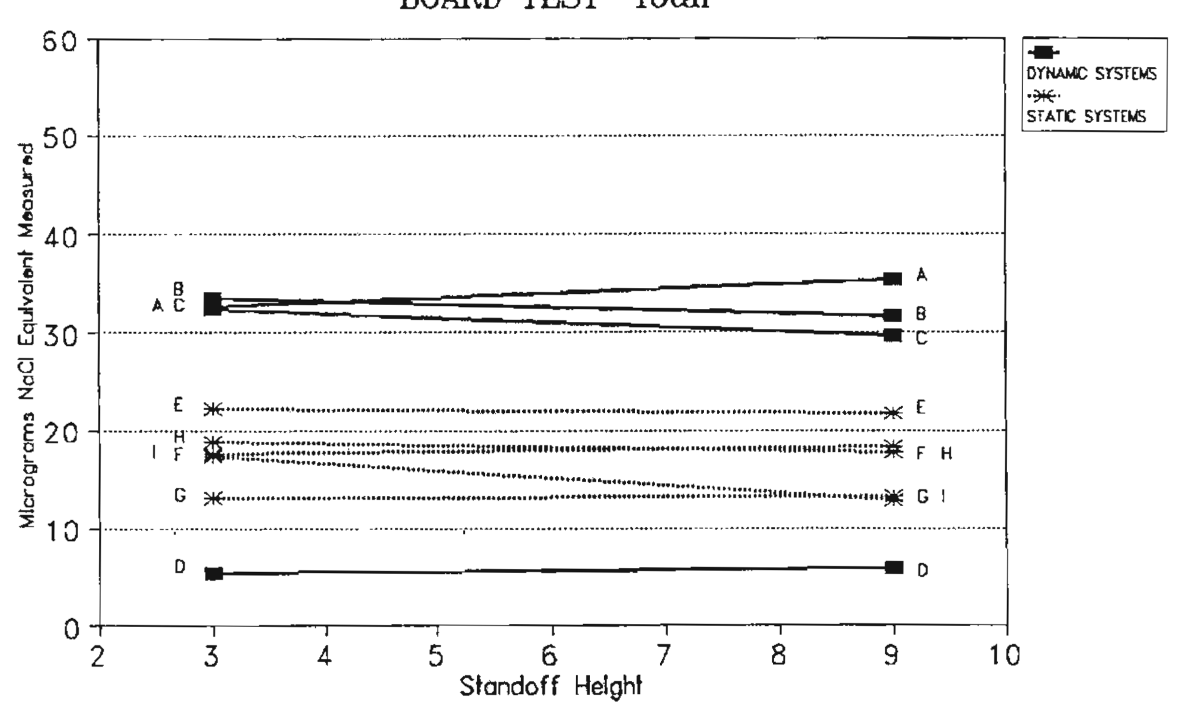

ALL SYSTEMS : Residue Effect
BOARD TEST w/Blocks
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Micrograms NaCl Equivalent Induced
DYNAMIC SYSTEMS
STATIC SYSTEMS
A
C
B
F
E
H
G
I
D

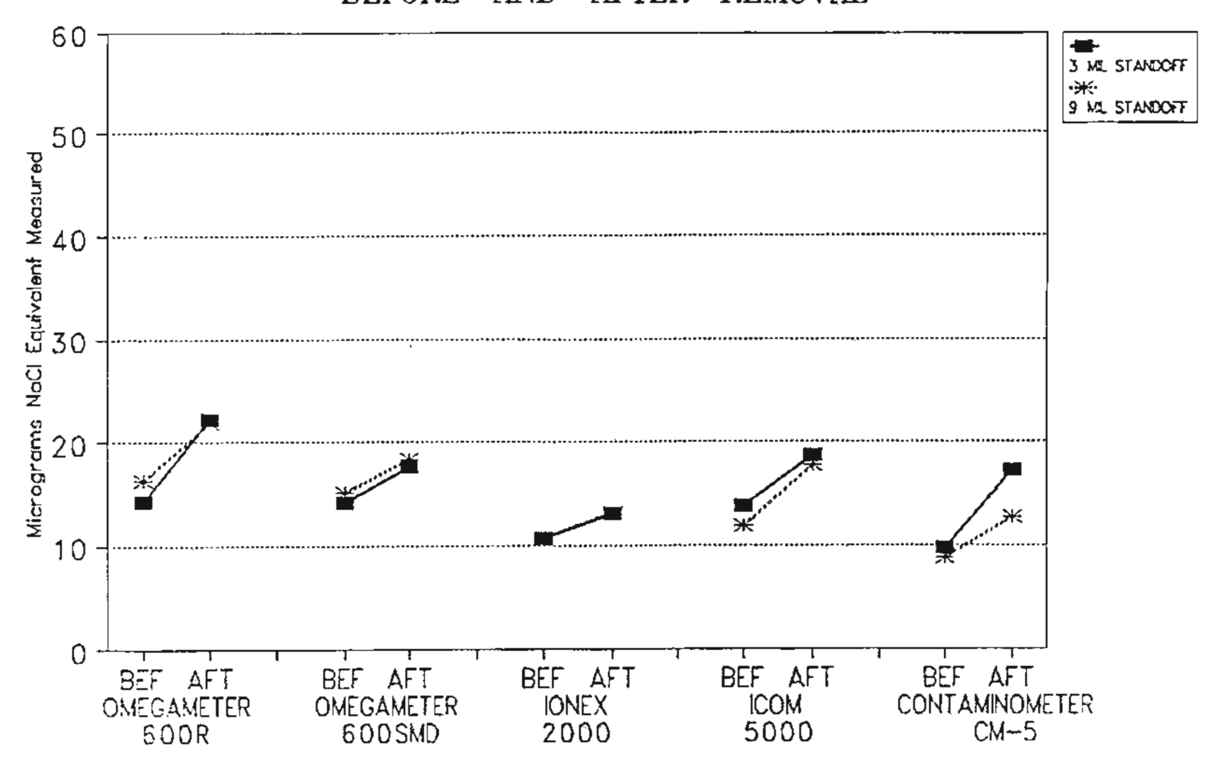

ALL SYSTEMS : Residue Effect
BOARD TEST Total
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Micrograms NaCl Equivalent Induced
DYNAMIC SYSTEMS
STATIC SYSTEMS
A
B
C
E
F
H
I
G
D

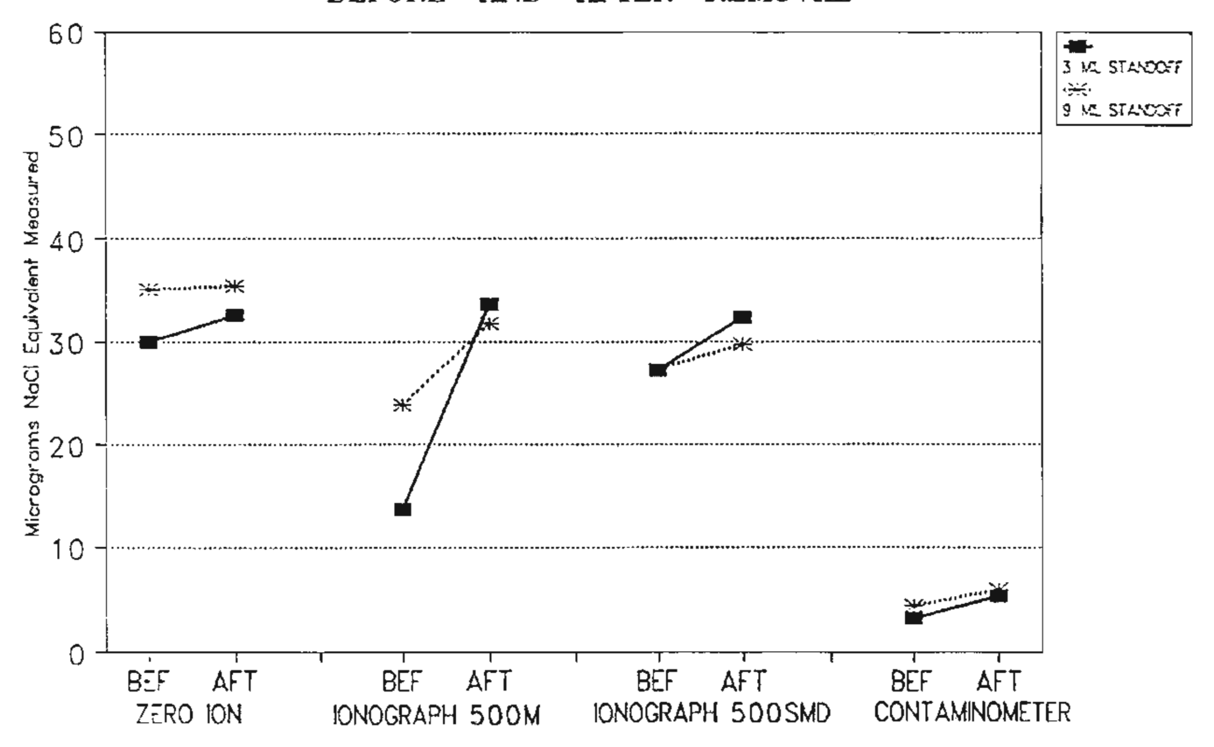

ALL SYSTEMS : IPA Effect
BOARD TEST w/Blocks
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
DYNAMIC SYSTEMS
STATIC SYSTEMS
A
C
B
E
F
G
H
I
D
A
C
I H
F
E G
D
B
0
10
20
30
40
50
60
68
70
72
74
76
78
80
82

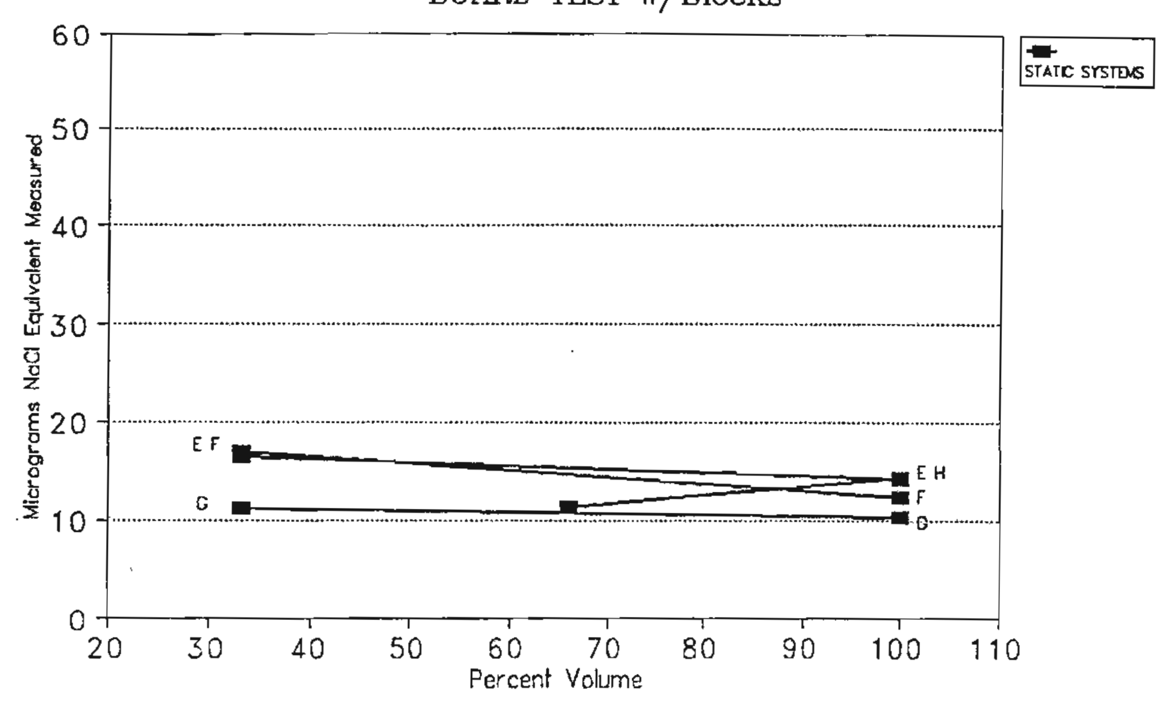

ALL SYSTEMS : IPA Effect
BOARD TEST Total
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
DYNAMIC SYSTEMS
STATIC SYSTEMS
B
C
A
E
F
H
G
I
D
A
I
H
C
B
F
E
G D
0
10
20
30
40
50
60
68
70
72
74
76
78
80
82

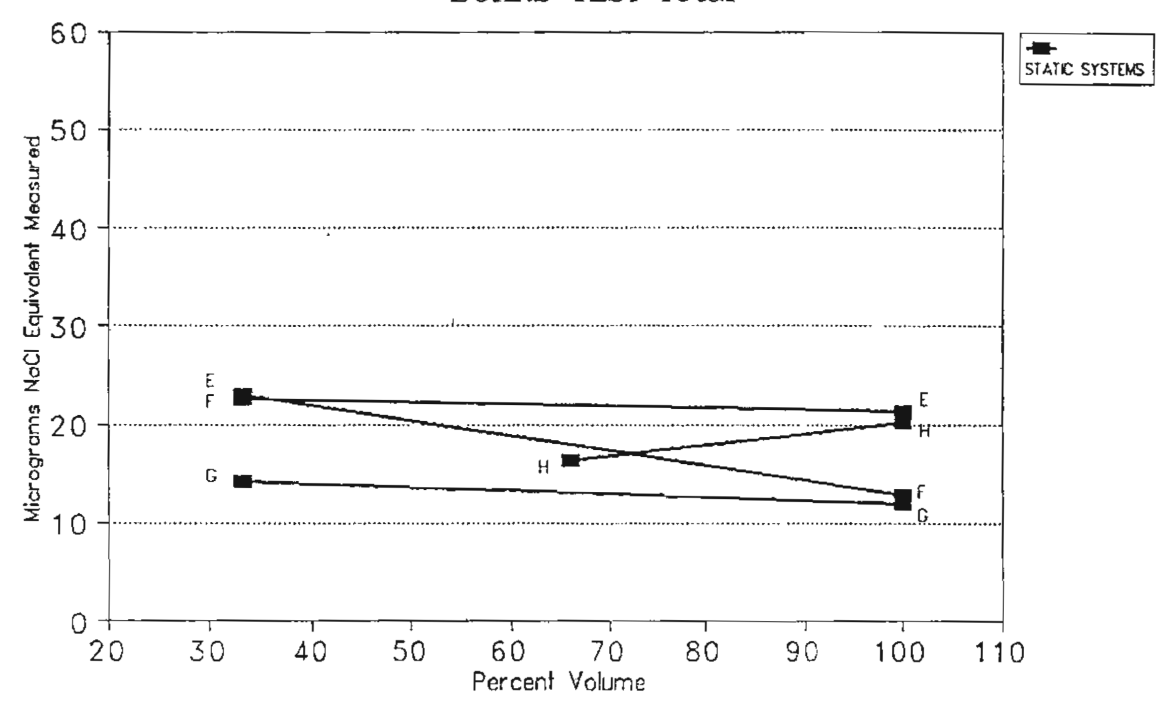

ALL SYSTEMS : Standoff Effect
BOARD TEST w/Blocks
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Standoff Height
DYNAMIC SYSTEMS
STATIC SYSTEMS
A
B
C
D
E
F
G
H
I
BEFG


ALL SYSTEMS : Standoff Effect
BOARD TEST Total
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Standoff Height
DYNAMIC SYSTEMS
STATIC SYSTEMS
A
B
C
D
E
F
G
H
I


STATIC SYSTEMS: Standoff Effect
"BEFORE" AND "AFTER" REMOVAL
Micrograms NaCl Equivalent Measured
60
50
40
30
20
10
0
3 MIL STANDOFF
9 MIL STANDOFF
BEF AFT
OMEGAMETER 600R
BEF AFT
OMEGAMETER 600SMD
BEF AFT
IONEX 2000
BEF AFT
ICOM 5000
BEF AFT
CONTAMINOMETER CM-5


DYNAMIC SYSTEMS Standoff Effect
"BEFORE" AND "AFTER" REMOVAL
Micrograms NaCl Equivalent Measured
60
50
40
30
20
10
0
3 MIL STANDOFF
9 MIL STANDOFF
BEF AFT
ZERO ION
BEF AFT
IONOGRAPH 500M
BEF AFT
IONOGRAPH 500SMD
BEF AFT
CONTAMINOMETER


STATIC SYSTEMS : Volume Effect
BOARD TEST w/Blocks
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent Volume
STATIC SYSTEMS
E F
G
E H
F
G
0
10
20
30
40
50
60
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110


STATIC SYSTEMS : Volume Effect
BOARD TEST Total
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent Volume
STATIC SYSTEMS
E
F
G
H
E
H
F
G
0
10
20
30
40
50
60
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110

IPC-TR-583

LONDON CHEMICAL

ZERO ION

Dynamic
Unheated
Spray below immersion

IPC-TR-583

ZERO ION SYSTEM
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
PWB/WEAK FLUX TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C	A AMOUNT OF RESIDUE ($\mu GR/IN^2$)	B IPA (VOL%)	C CHANNEL DEPTH (MILS)	IONIC READING W/BLOCK	IONIC READING WO/BLOCK	TEST DURATION	TEST CELL TEMP. W/BLK	TEST CELL TEMP. WO/BLK
1	2	+ - -	55	70	3	62.8	13.8	15:00	86°F	88°F
2	6	+ - +	55	70	9	79.5	0.0	15:00	89°F	91°F
3	1	- - -	5	70	3	10.6	3.5	15:00	91°F	93°F
4	5	- - +	5	70	9	14.9	1.8	15:00	92°F	95°F
5	10	0 0 0	30	75	6	83.9	4.3	15:00	86°F	88°F
6	11	0 0 0	30	75	6	89.2	0.0	15:00	90°F	92°F
7	9	0 0 0	30	75	6	85.7	0.0	15:00	93°F	94°F
8	3	- + -	5	80	3	4.0	1.4	15:00	88°F	90°F
9	4	+ + -	55	80	3	32.5	0.0	15:00	90°F	93°F
10	7	- + +	5	80	9	5.7	0.3	15:00	95°F	96°F
11	8	+ + +	55	80	9	44.4	0.0	15:00	96°F	97°F
12	2	+ - -	55	70	3	91.5	0.3	15:00	90°F	91°F
13	6	+ - +	55	70	9	76.6	0.0	15:00	93°F	94°F
14	1	- - -	5	70	3	2.3	0.0	15:00	95°F	96°F
15	5	- - +	5	70	9	10.01	0.0	15:00	97°F	97°F

TABLE OF EFFECTS (Board Tests with Blocks)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	32.59*	18.77*	27.21*	3.81*	15.33*	14.68*	10.73*	12.81*	9.29*
MAIN									
Residue (R)	50.88*	24.01*	37.81*	5.26*	12.28*	16.60*	10.19*	7.21*	11.83*
IPA (I)	-21.88*	-35.43*	-26.69*	-1.41	-20.51*	-11.30*		-4.39*	2.38
Volume (V)					-2.17	-4.63*	-0.93	3.18*	
Channel (C)	5.12	10.27*	0.12	1.11	1.89	0.88	0.05	-1.99	-1.05
Heat (H)						6.94*		2.12	
INTERACTION									
R*I	-17.27*	-22.08*	-20.52*	-1.96	-6.18*	-4.69*	-4.99*	-1.37	0.13
R*V					-3.92x	0.81	0.13	-0.49	
R*C	1.28	7.14	0.16	0.26	0.24	-3.16*	0.13	0.06	0.85
R*H						3.10*		1.86	
I*V					-7.98*	-3.39*	-0.48	1.54	
I*C	1.68	-8.29	-1.70	0.69	1.26	0.64	1.55	-0.89	-3.20
I*H						-0.30		2.88x	
V*C					0.29	1.19	-0.81	1.48	
V*H						1.28	0.13	-1.60	
C*H						-3.73*		-1.82	
R*I*V					-2.18		0.33		
R*I*C	3.83	-5.34	4.44	0.24	-1.14		0.34		0.10
R*V*C					1.92		0.56		
I*V*C					-3.44x		-0.74		
CENTER	53.68*	48.85*	6.48	2.36	16.11*	-0.05	10.00*	1.13	2.45

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

255

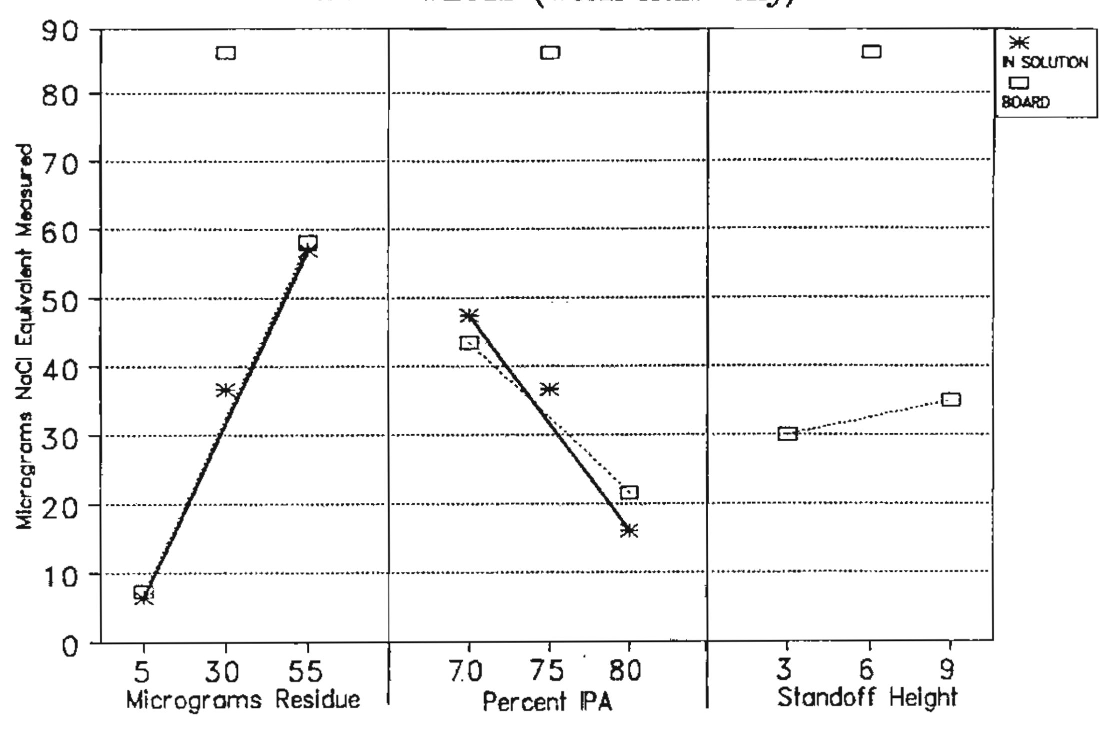
IPC-TR-583

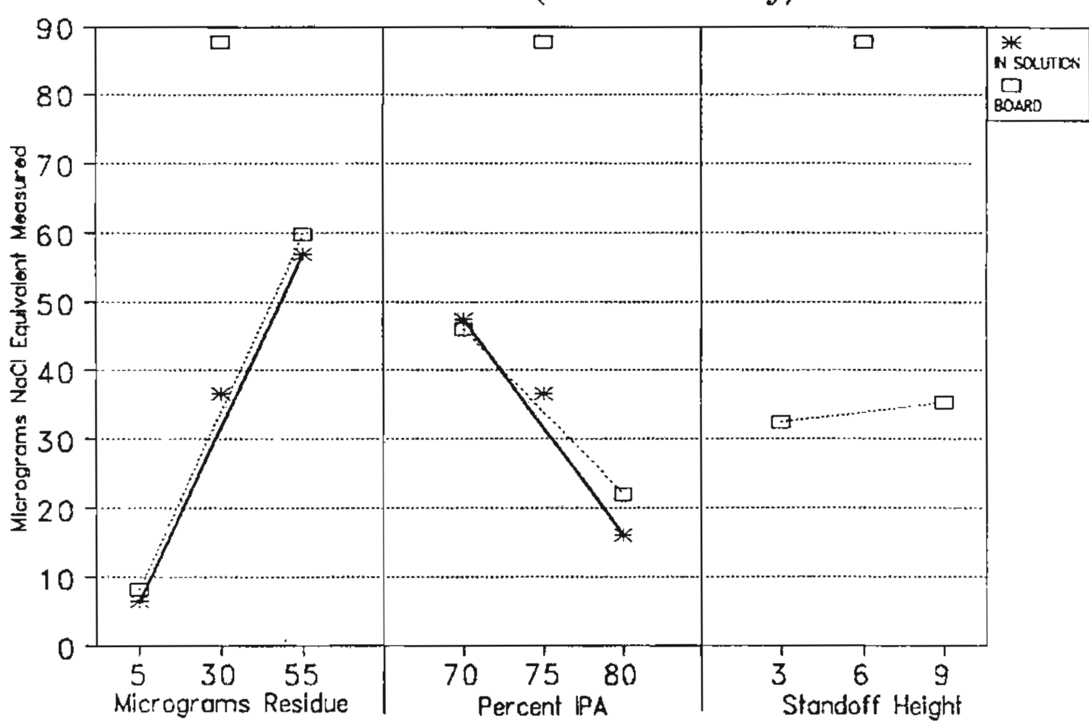
IPC-TR-583

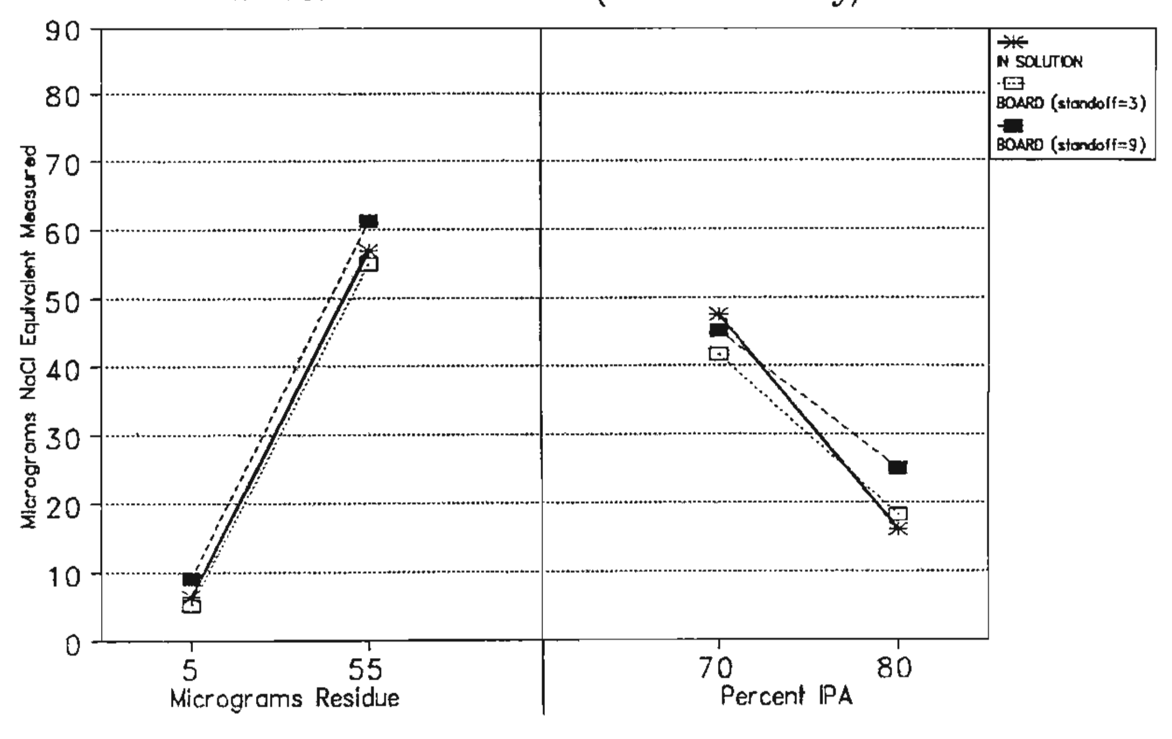
TABLE OF EFFECTS (Board Tests: Total)

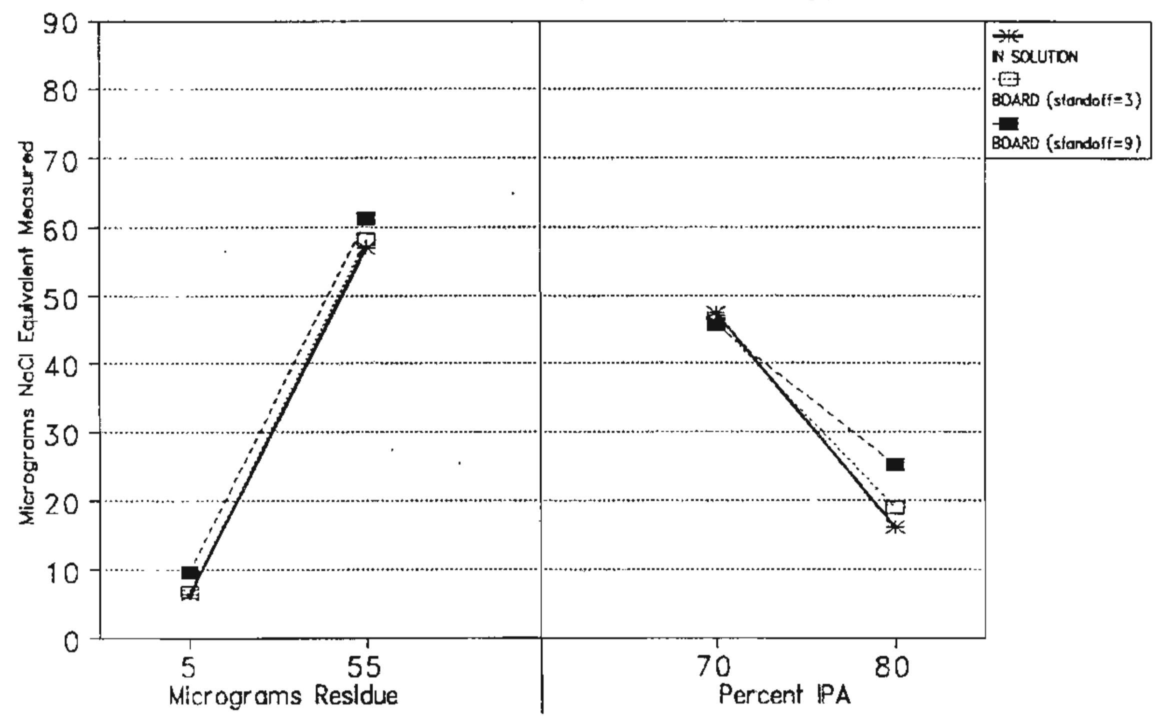
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	34.01*	32.66*	31.03*	5.68*	22.01*	17.93*	13.14*	18.27*	15.06*
MAIN									
Residue (R)	51.55*	42.86*	38.89*	6.59*	17.82*	17.01*	11.33*	7.33*	13.66*
IPA (I)	-23.88*	-42.32*	-31.83*	-0.61	-27.52*	-14.33*		-4.79*	6.29x
Volume (V)					-1.23	-10.13*	-2.23	3.88	
Channel (C)	2.88	-1.90	-2.79	0.49	-0.37	0.69	0.12	-1.00	-4.49
Heat (H)						6.69*		1.61	
INTERACTION									
R*I	-18.80*	-23.04*	-20.27*	-1.54	-6.37x	-4.13*	-5.68*	-2.46	-3.66
R*V					-2.48	0.07	-0.01	-0.35	
R*C	0.00	-3.50	-0.30	-0.44	-1.09	-3.11x	-0.81	-1.21	4.51
R*H						3.14x		2.72	
I*V					-6.72x	-1.34	0.98	1.78	
I*C	3.38	-6.65	0.06	0.26	-0.03	0.43	1.63	-0.58	-2.31
I*H						0.13		4.85	
V*C					1.56	1.53	-1.54	2.20	
V*H						1.03		-3.12	
C*H						-3.94*		-2.53	
R*I*V					-2.42		1.96		
R*I*C	4.77	-3.11	3.99	-0.31	-2.36		-0.24		6.09x
R*V*C					3.58		0.36		
I*V*C					-4.41		-0.11		
CENTER	53.69*	47.23*	5.84	1.79	9.72x	1.53	8.26*	0.15	1.48

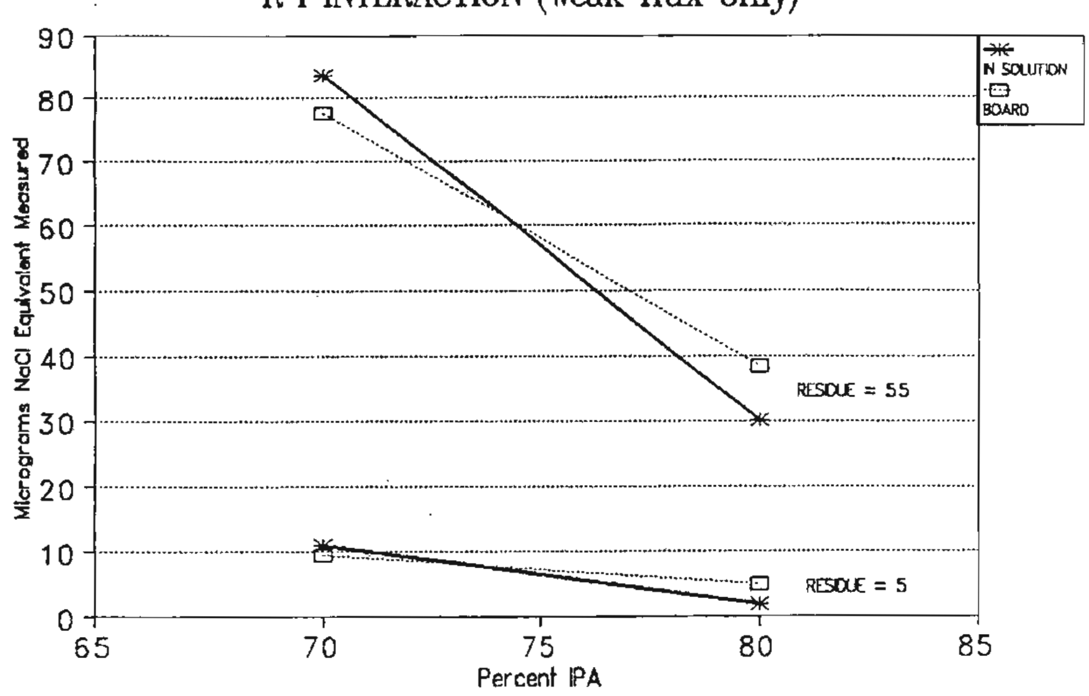
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

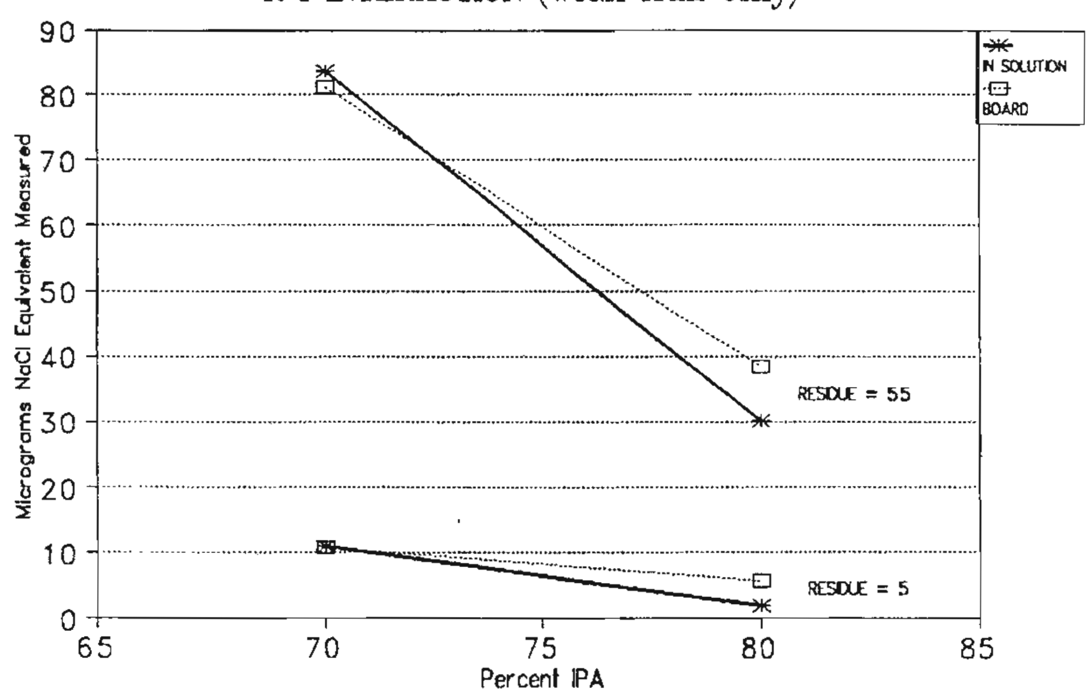

ZERO ION : Board w/Block
MAIN EFFECTS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
5
30
55
Micrograms Residue
70
75
80
Percent IPA
3
6
9
Standoff Height
IN SOLUTION
BOARD

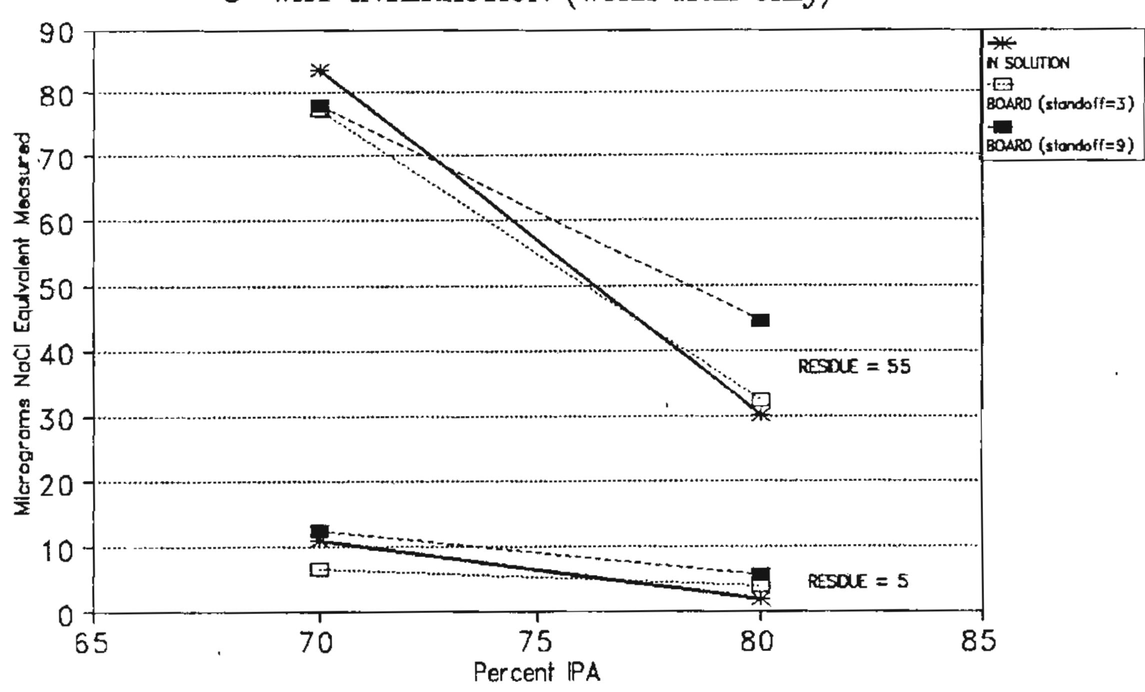

ZERO ION : Board Total
MAIN EFFECTS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
5
30
55
Micrograms Residue
70
75
80
Percent IPA
3
6
9
Standoff Height
IN SOLUTION
BOARD

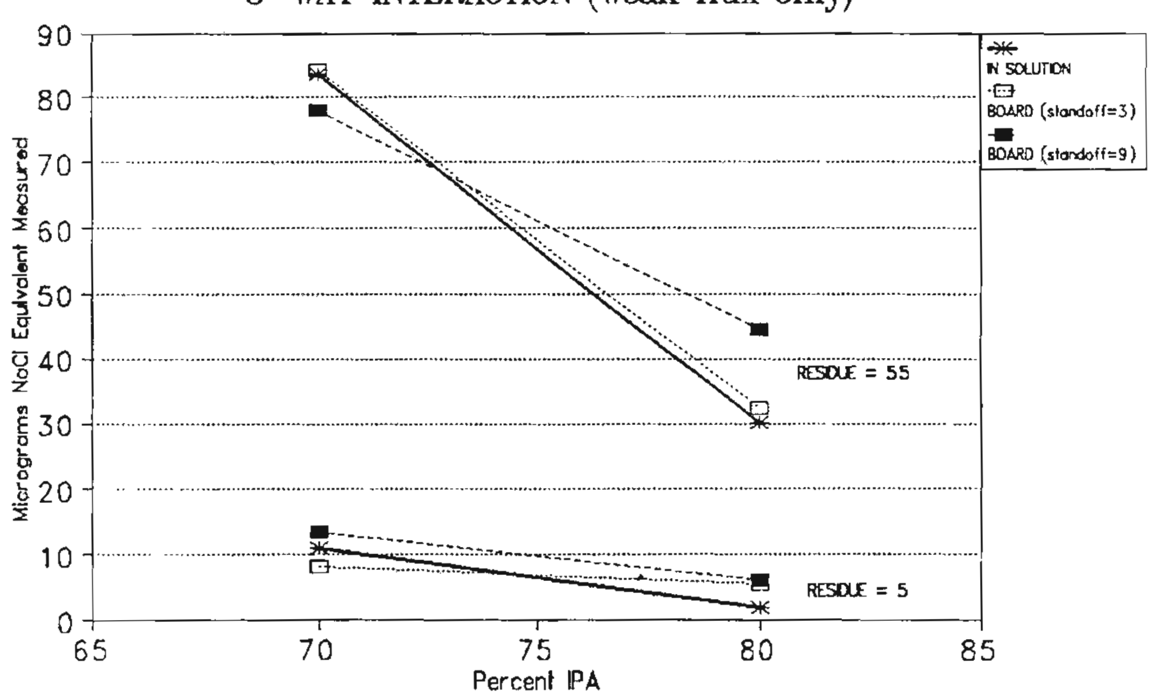

ZERO ION : Board w/Block
2-WAY INTERACTIONS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


ZERO ION : Board Total
2-WAY INTERACTIONS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


ZERO ION : Board w/Block
R*I INTERACTION (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85


ZERO ION : Board Total
R*I INTERACTION (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85


ZERO ION : Board w/Block
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Micrograms NaCl Equivalent Measured
65
70
75
80
85
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5


ZERO ION : Board Total
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Micrograms NaCl Equivalent Measured
65
70
75
80
85
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5

ZERO ION
IN SOLUTION TEST (weak flux)

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	31.663	0.6415	49.36	0.000	*
R	25.2625	0.6415	39.38	0.000	*
I	-15.6625	0.6415	-24.41	0.000	*
R*I	-11.0625	0.6415	-17.24	0.000	*
CTR.PT	4.937	1.228	4.02	0.028	*

s = 1.482 R-sq = 99.9% R-sq(adj) = 99.8%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	4	6989.8	1747.4	796.10	0.000
Error	3	6.6	2.2		
Total	7	6996.3			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	5028.6
I	1	1273.0
R*I	1	652.7
CTR.PT	1	35.5

IPC-TR-583

ZERO ION
BOARD TEST w/BLOCK

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	32.588	2.730	11.94	0.000	*
R	25.438	2.730	9.32	0.000	*
I	-10.938	2.730	-4.01	0.007	*
C	2.562	2.730	0.94	0.384	
R*I	-8.637	2.730	-3.16	0.019	*
R*C	0.638	2.730	0.23	0.823	
I*C	0.838	2.730	0.31	0.769	
R*I*C	1.913	2.730	0.70	0.510	
CTR.PT	53.679	5.827	9.21	0.000	*

s = 8.917   R-sq = 97.4%   R-sq(adj) = 93.9%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	17810.9	2226.4	28.00	0.000
Error	6	477.0	79.5		
Total	14	18287.9			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	9622.0
I	1	537.2
C	1	62.6
R*I	1	795.8
R*C	1	0.0
I*C	1	7.5
R*I*C	1	39.0
CTR.PT	1	6746.8

Unusual Observations

Obs.	R	ZERO.B	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
1	1.00	62.80	77.15	6.30	-14.35	-2.28R
10	1.00	91.50	77.15	6.30	14.35	2.28R

R denotes an obs. with a large st. resid.

ZERO ION
BOARD TEST TOTAL

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	34.013	1.847	18.42	0.000	*
R	25.775	1.847	13.96	0.000	*
I	-11.938	1.847	-6.46	0.001	*
C	1.438	1.847	0.78	0.466	
R*I	-9.400	1.847	-5.09	0.002	*
R*C	-0.000	1.847	-0.00	1.000	
I*C	1.688	1.847	0.91	0.396	
R*I*C	2.825	1.847	1.53	0.177	
CTR.PT	53.687	3.942	13.62	0.000	*

s = 6.032 R-sq = 98.8% R-sq(adj) = 97.3%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	18556.4	2319.5	63.76	0.000
Error	6	218.3	36.4		
Total	14	18774.7			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	10028.3
I	1	701.3
C	1	9.2
R*I	1	942.5
R*C	1	10.6
I*C	1	30.4
R*I*C	1	85.1
CTR.PT	1	6748.9

IPC-TR-583

ALPHA METALS

IONOGRAPH 500M

Dynamic
Unheated
Spray below immersion

IONOGRAPH 500M
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
PWB/WEAK FLUX TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C	A AMOUNT OF RESIDUE (μGR/IN^2)	B IPA (VOL%)	C CHANNEL DEPTH (MILS)	IONIC READING W/BLOCK	IONIC READING WO/BLOCK	TEST DURATION	TEST CELL TEMP.
1	2	+ - -	55	70	3	40.20	39.40	15:00	29.5°C
2	6	+ - +	55	70	9	73.54	10.37	15:00	30.5°C
3	1	- - -	5	70	3	15.12	9.31	15:00	28.8°C
4	5	- - +	5	70	9	16.96	8.25	15:00	34.0°C
5	9	0 0 0	30	75	6	70.43	8.82	15:00	29.6°C
6	10	0 0 0	30	75	6	74.48	16.31	15:00	30.9°C
7	11	0 0 0	30	75	6	57.94	11.68	15:00	33.2°C
8	8	+ + +	55	80	9	3.91	9.91	6:00	33.7°C
9	3	- + -	5	80	3	0.0	2.55	7:00	29.6°C
10	4	+ + -	55	80	3	0.13	28.85	6:00	29.6°C
11	7	- + +	5	80	9	0.18	0.44	5:00	31.7°C
12	2	+ - -	55	70	3	47.83	41.74	15:00	28.6°C
13	6	+ - +	55	70	9	76.57	17.42	15:00	32.8°C
14	1	- - -	5	70	3	5.69	6.47	7:00	32.9°C
15	5	- - +	5	70	9	15.99	5.67	15:00	33.2°C

TABLE OF EFFECTS (Board Tests with Blocks)

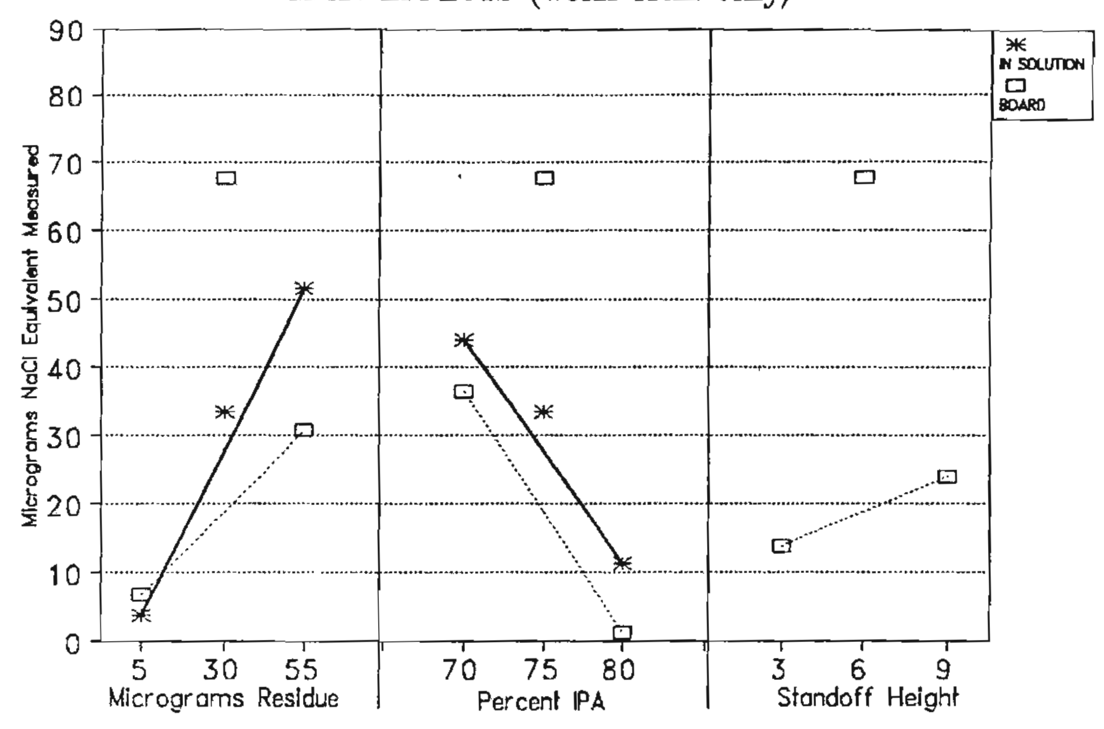
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	32.59*	18.77*	27.21*	3.81*	15.33*	14.68*	10.73*	12.81*	9.29*
MAIN									
Residue (R)	50.88*	24.01*	37.81*	5.26*	12.28*	16.60*	10.19*	7.21*	11.83*
IPA (I)	-21.88*	-35.43*	-26.69*	-1.41	-20.51*	-11.30*		-4.39*	2.38
Volume (V)					-2.17	-4.63*	-0.93	3.18*	
Channel (C)	5.12	10.27*	0.12	1.11	1.89	0.88	0.05	-1.99	-1.05
Heat (H)						6.94*		2.12	
INTERACTION									
R*I	-17.27*	-22.08*	-20.52*	-1.96	-6.18*	-4.69*	-4.99*	-1.37	0.13
R*V					-3.92x	0.81	0.13	-0.49	
R*C	1.28	7.14	0.16	0.26	0.24	-3.16*	0.13	0.06	0.85
R*H						3.10*		1.86	
I*V					-7.98*	-3.39*	-0.48	1.54	
I*C	1.68	-8.29	-1.70	0.69	1.26	0.64	1.55	-0.89	-3.20
I*H						-0.30		2.88x	
V*C					0.29	1.19	-0.81	1.48	
V*H						1.28	0.13	-1.60	
C*H						-3.73*		-1.82	
R*I*V					-2.18		0.33		
R*I*C	3.83	-5.34	4.44	0.24	-1.14		0.34		0.10
R*V*C					1.92		0.56		
I*V*C					-3.44x		-0.74		
CENTER	53.68*	48.85*	6.48	2.36	16.11*	-0.05	10.00*	1.13	2.45

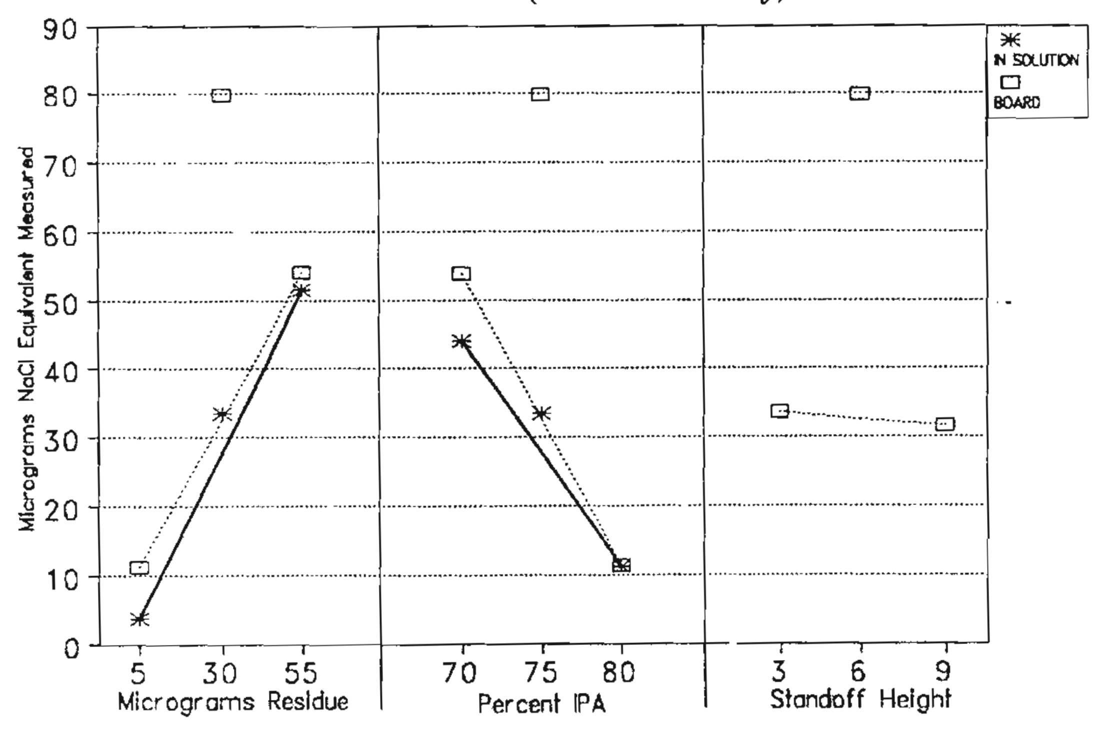
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

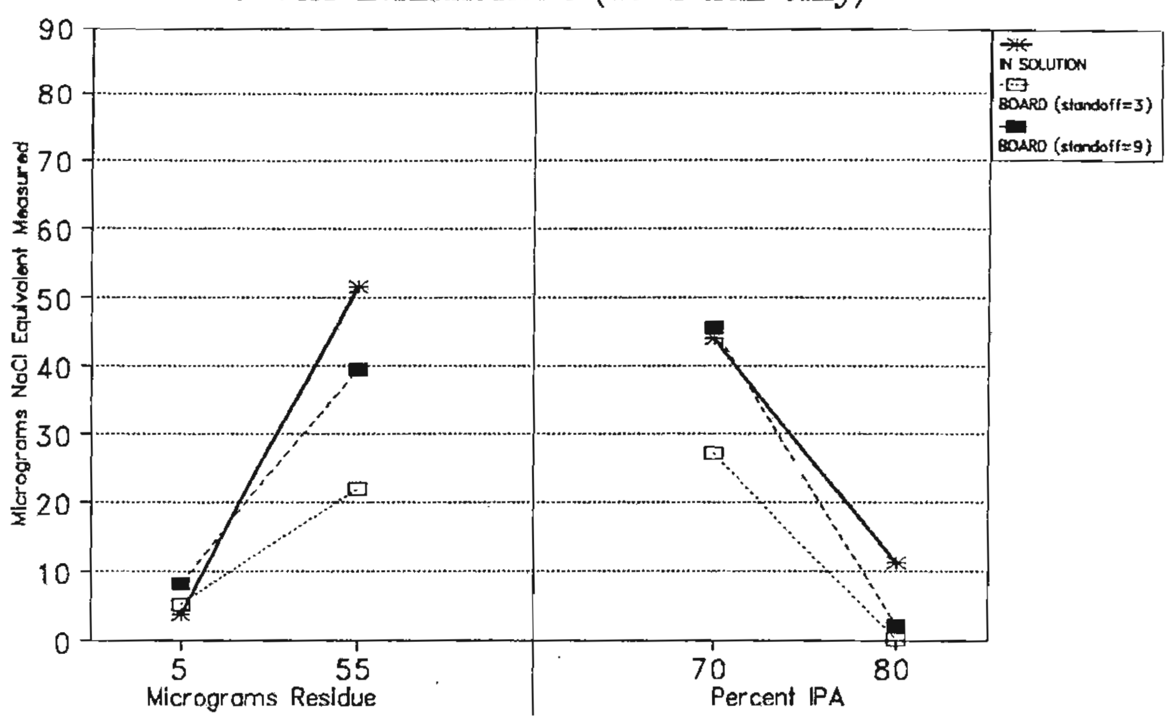
TABLE OF EFFECTS (Board Tests: Total)

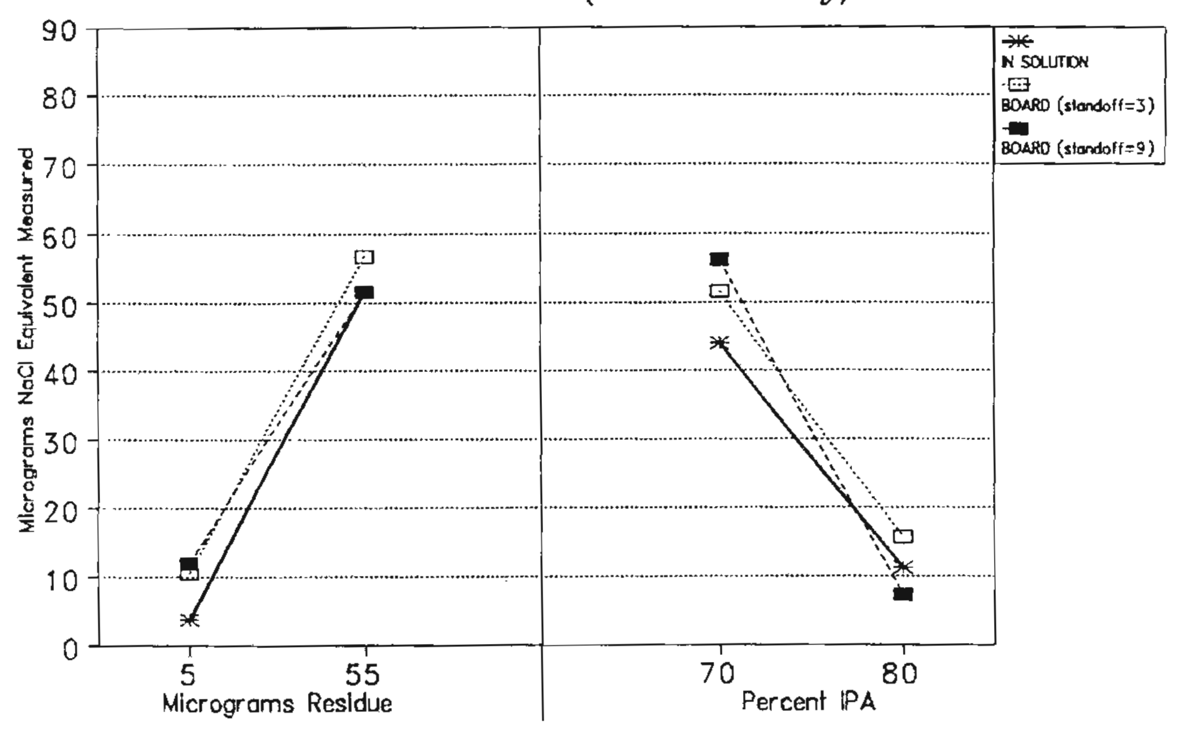
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	34.01*	32.66*	31.03*	5.68*	22.01*	17.93*	13.14*	18.27*	15.06*
MAIN									
Residue (R)	51.55*	42.86*	38.89*	6.59*	17.82*	17.01*	11.33*	7.33*	13.66*
IPA (I)	-23.88*	-42.32*	-31.83*	-0.61	-27.52*	-14.33*		-4.79*	6.29x
Volume (V)					-1.23	-10.13*	-2.23	3.88	
Channel (C)	2.88	-1.90	-2.79	0.49	-0.37	0.69	0.12	-1.00	-4.49
Heat (H)						6.69*		1.61	
INTERACTION									
R*I	-18.80*	-23.94*	-20.27*	-1.54	-6.37x	-4.13*	-5.68*	-2.46	-3.66
R*V					-2.48	0.07	-0.01	-0.35	
R*C	0.00	-3.50	-0.30	-0.44	-1.09	-3.11x	-0.81	-1.21	4.51
R*H						3.14x		2.72	
I*V					-6.72x	-1.34	0.98	1.78	
I*C	3.38	-6.65	0.06	0.26	-0.03	0.43	1.63	-0.58	-2.31
I*H						0.13		4.85	
V*C					1.56	1.53	-1.54	2.20	
V*H						1.03		-3.12	
C*H						-3.94*		-2.53	
R*I*V					-2.42		1.96		
R*I*C	4.77	-3.11	3.99	-0.31	-2.36		-0.24		6.09x
R*V*C					3.58		0.36		
I*V*C					-4.41		-0.11		
CENTER	53.69*	47.23*	5.84	1.79	9.72x	1.53	8.26*	0.15	1.48

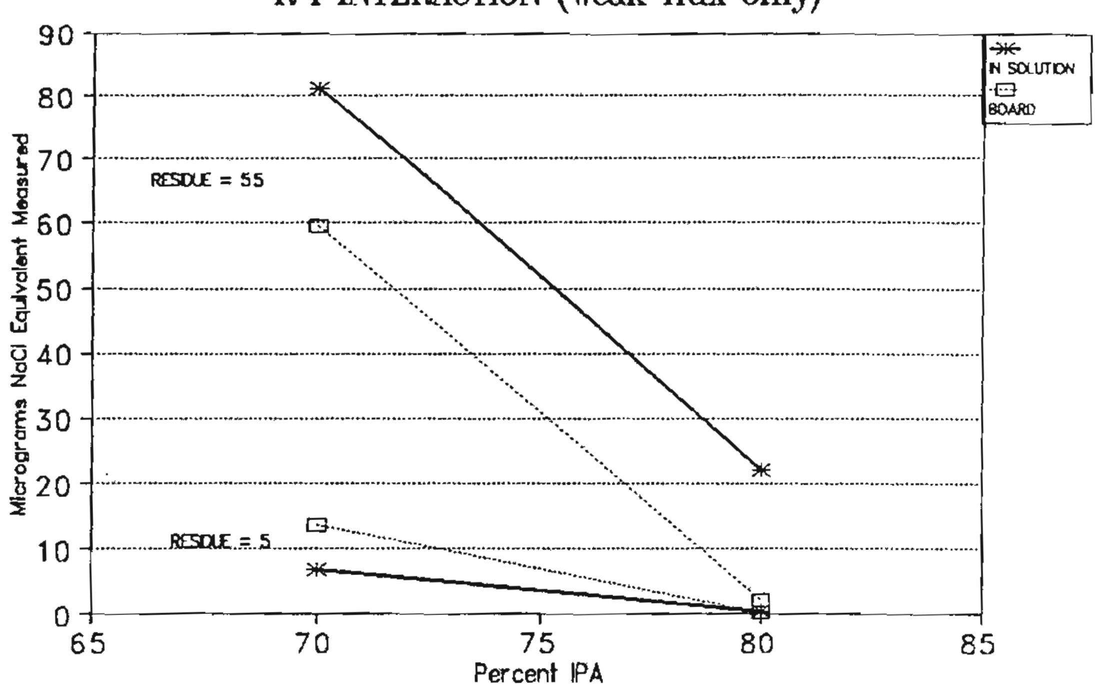
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

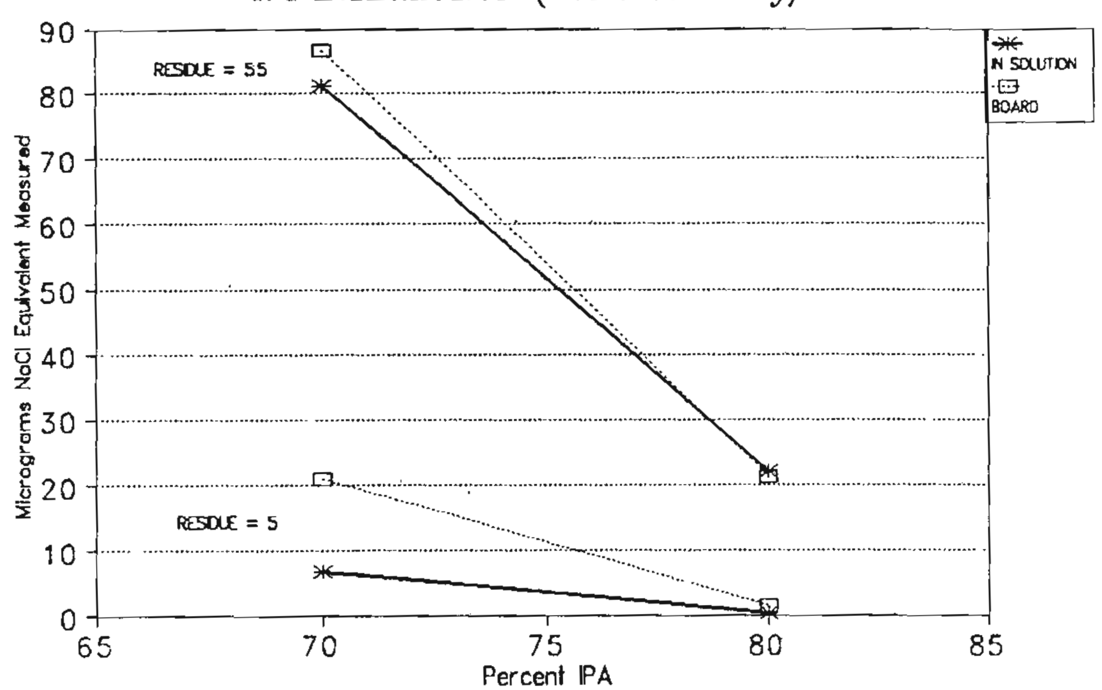

IONOGRAPH 500M : Board w/Block
MAIN EFFECTS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
IN SOLUTION
BOARD
5
30
55
Micrograms Residue
70
75
80
Percent IPA
3
6
9
Standoff Height


IONOGRAPH 500M : Board Total
MAIN EFFECTS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
IN SOLUTION
BOARD
5
30
55
Micrograms Residue
70
75
80
Percent IPA
3
6
9
Standoff Height

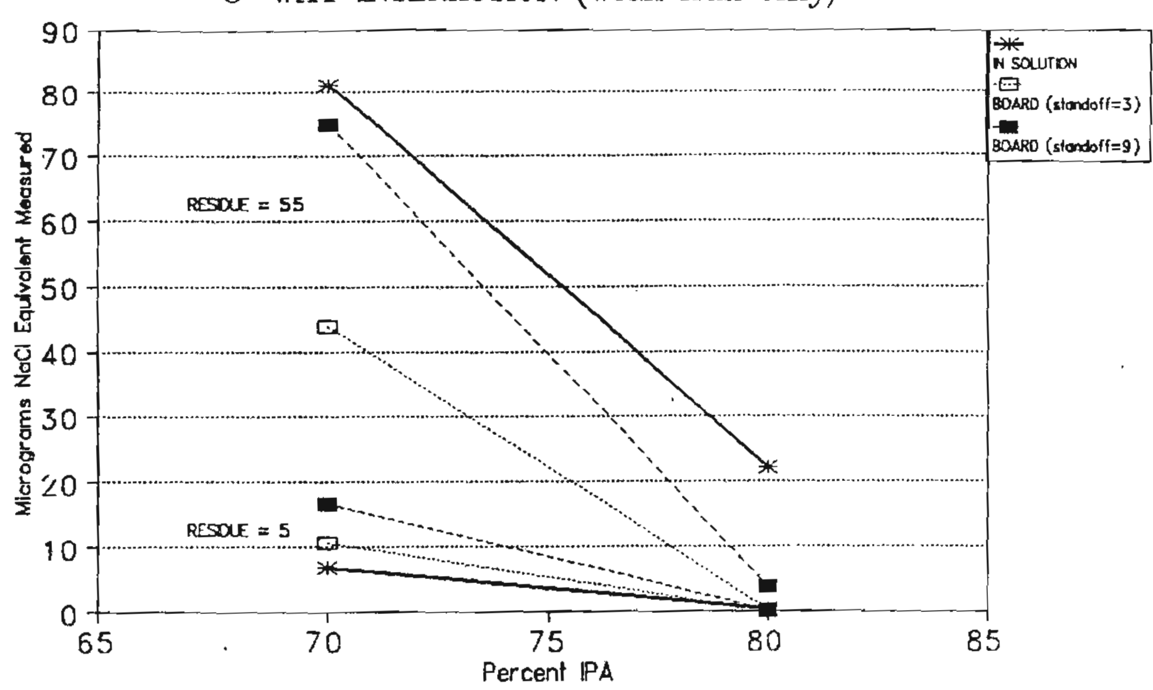

IONOGRAPH 500M : Board w/Block
2-WAY INTERACTIONS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


IONOGRAPH 500M : Board Total
2-WAY INTERACTIONS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)

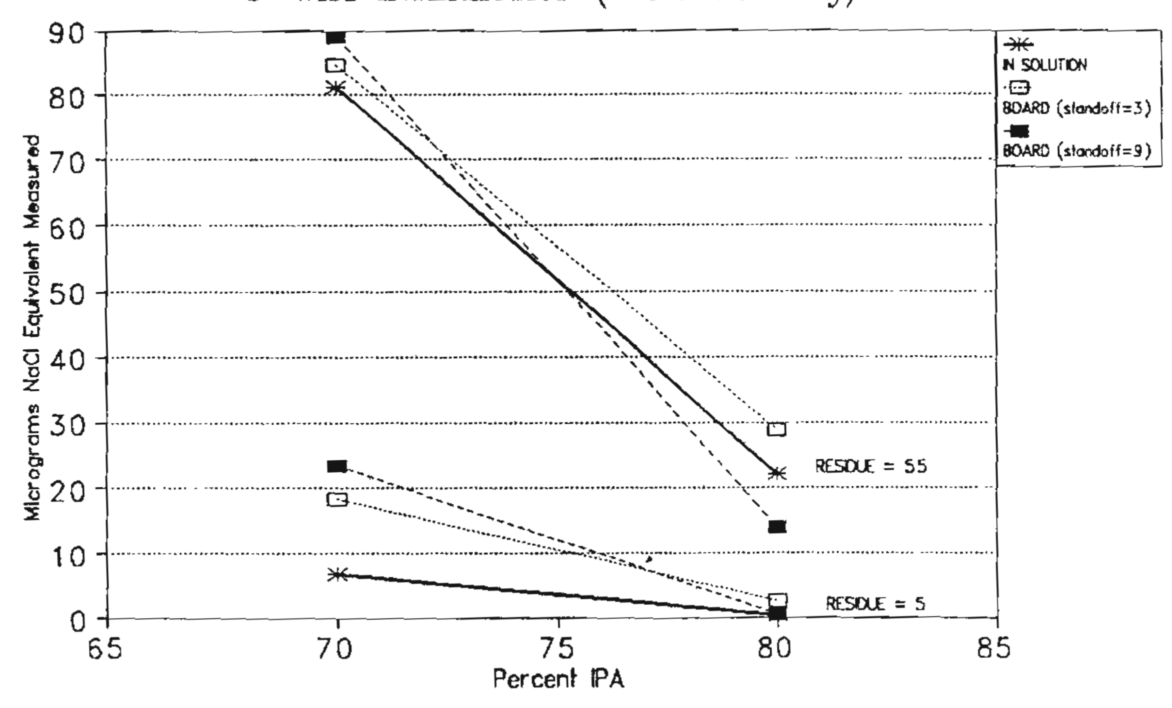

IONOGRAPH 500M : Board w/Block
R*I INTERACTION (weak flux only)
IN SOLUTION
BOARD
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85
Percent IPA


IONOGRAPH 500M : Board Total
R*I INTERACTION (weak flux only)
IN SOLUTION
BOARD
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85
Percent IPA

IONOGRAPH 500M : Board w/Block
3-WAY INTERACTION (weak flux only)



IONOGRAPH 500M : Board Total
3-WAY INTERACTION (weak flux only)



IONOGRAPH 500M
IN SOLUTION TEST (weak flux)

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	27.584	2.305	11.97	0.001	*
R	23.989	2.305	10.41	0.002	*
I	-16.314	2.305	-7.08	0.006	*
R*I	-13.169	2.305	-5.71	0.011	*
CTR.PT	5.886	4.414	1.33	0.275	

s = 5.323   R-sq = 98.8%   R-sq(adj) = 97.3%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	4	7176.6	1794.1	63.32	0.003
Error	3	85.0	28.3		
Total	7	7261.6			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	4832.0
I	1	1369.3
R*I	1	924.9
CTR.PT	1	50.4

IONOGRAPH 500M
BOARD TEST w/BLOCK

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	18.772	1.885	9.96	0.000	*
R	12.006	1.885	6.37	0.001	*
I	-17.716	1.885	-9.40	0.000	*
C	5.134	1.885	2.72	0.034	*
R*I	-11.041	1.885	-5.86	0.001	*
R*C	3.571	1.885	1.90	0.107	
I*C	-4.144	1.885	-2.20	0.070	
R*I*C	-2.671	1.885	-1.42	0.206	
CTR.PT	48.845	4.022	12.14	0.000	*

s = 6.155 R-sq = 98.3% R-sq(adj) = 96.0%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	13033.8	1629.2	43.01	0.000
Error	6	227.3	37.9		
Total	14	13261.1			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	2952.9
I	1	2186.7
C	1	509.3
R*I	1	1300.4
R*C	1	238.9
I*C	1	183.2
R*I*C	1	76.1
CTR.PT	1	5586.4

IONOGRAPH 500M
BOARD TEST TOTAL

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	32.655	2.521	12.95	0.000	*
R	21.429	2.521	8.50	0.000	*
I	-21.162	2.521	-8.39	0.000	*
C	-0.948	2.521	-0.38	0.720	
R*I	-11.522	2.521	-4.57	0.004	*
R*C	-1.751	2.521	-0.69	0.513	
I*C	-3.324	2.521	-1.32	0.235	
R*I*C	-1.557	2.521	-0.62	0.560	
CTR.PT	47.232	5.381	8.78	0.000	*

s = 8.234 R-sq = 97.8% R-sq(adj) = 94.8%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	17892.3	2236.5	32.99	0.000
Error	6	406.8	67.8		
Total	14	18299.1			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	7662.9
I	1	3427.6
C	1	0.3
R*I	1	1416.0
R*C	1	18.2
I*C	1	117.9
R*I*C	1	25.9
CTR.PT	1	5223.5

IPC-TR-583

ALPHA METALS

IONOGRAPH 500SMD

Dynamic
Heated
Spray below immersion

IONOGRAPH 500 SMD
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
PWB/WEAK FLUX TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C	A AMOUNT OF RESIDUE (μGR/IN^2)	B IPA (VOL%)	C CHANNEL DEPTH (MILS)	IONIC READING W/BLOCK	IONIC READING WO/BLOCK	TEST DURATION	TEST CELL TEMP.
1	1	- - -	5	70	3	8.86	4.95	15:00	44.7°C 44.6°C
2	2	+ - -	55	70	3	57.90	9.90	15:00	44.9°C 44.2°C
3	5	- - +	5	70	9	13.86	4.48	15:00	44.9°C 44.2°C
4	6	+ - +	55	70	9	54.04	6.03	15:00	44.8°C 44.4°C
5	10	0 0 0	30	75	6	34.92	3.74	15:00	44.2°C 44.0°C
6	11	0 0 0	30	75	6	30.07	3.28	15:00	44.8°C 44.4°C
7	9	0 0 0	30	75	6	36.07	2.54	15:00	44.9°C 44.7°C
8	4	+ + -	55	80	3	20.99	2.96	12:00 6:00	44.4°C 44.0°C
9	7	- + +	5	80	9	2.13	0.47	5:00 5:00	44.9°C 44.7°C
10	3	- + -	5	80	3	8.31	0.70	7:00 5:00	44.2°C 44.8°C
11	8	+ + +	55	80	9	24.01	0.90	7:00 10:00	44.4°C 44.4°C
12	1	- - -	5	70	3	7.83	11.66	7:00 15:00	44.1°C 44.6°C
13	2	+ - -	55	70	3	83.99	8.41	15:00 15:00	44.2°C 44.4°C
14	5	- - +	5	70	9	15.01	2.83	15:00 6:00	44.4°C 44.1°C
15	6	+ - +	55	70	9	82.95	2.91	15:00 9:00	44.7°C 44.9°C

IPC-TR-583

TABLE OF EFFECTS (Board Tests with Blocks)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	32.59*	18.77*	27.21*	3.81*	15.33*	14.68*	10.73*	12.81*	9.29*
MAIN									
Residue (R)	50.88*	24.01*	37.81*	5.26*	12.28*	16.60*	10.19*	7.21*	11.83*
IPA (I)	-21.88*	-35.43*	-26.69*	-1.41	-20.51*	-11.30*		-4.39*	2.38
Volume (V)					-2.17	-4.63*	-0.93	3.18*	
Channel (C)	5.12	10.27*	0.12	1.11	1.89	0.88	0.05	-1.99	-1.05
Heat (H)						6.94*		2.12	
INTERACTION									
R*I	-17.27*	-22.08*	-20.52*	-1.96	-6.18*	-4.69*	-4.99*	-1.37	0.13
R*V					-3.92x	0.81	0.13	-0.49	
R*C	1.28	7.14	0.16	0.26	0.24	-3.16*	0.13	0.06	0.85
R*H						3.10*		1.86	
I*V					-7.98*	-3.39*	-0.48	1.54	
I*C	1.68	-8.29	-1.70	0.69	1.26	0.64	1.55	-0.89	-3.20
I*H						-0.30		2.88x	
V*C					0.29	1.19	-0.81	1.48	
V*H						1.28	0.13	-1.60	
C*H						-3.73*		-1.82	
R*I*V					-2.18		0.33		
R*I*C	3.83	-5.34	4.44	0.24	-1.14		0.34		0.10
R*V*C					1.92		0.56		
I*V*C					-3.44x		-0.74		
CENTER	53.68*	48.85*	6.48	2.36	16.11*	-0.05	10.00*	1.13	2.45

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

277

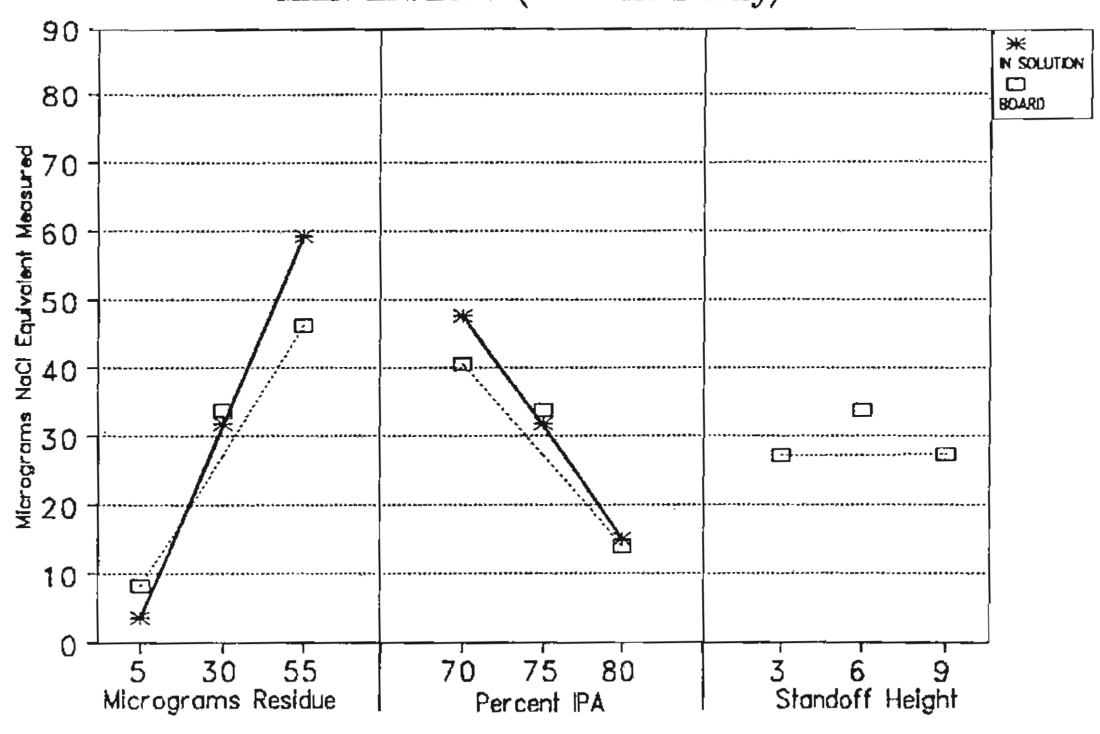
IPC-TR-583

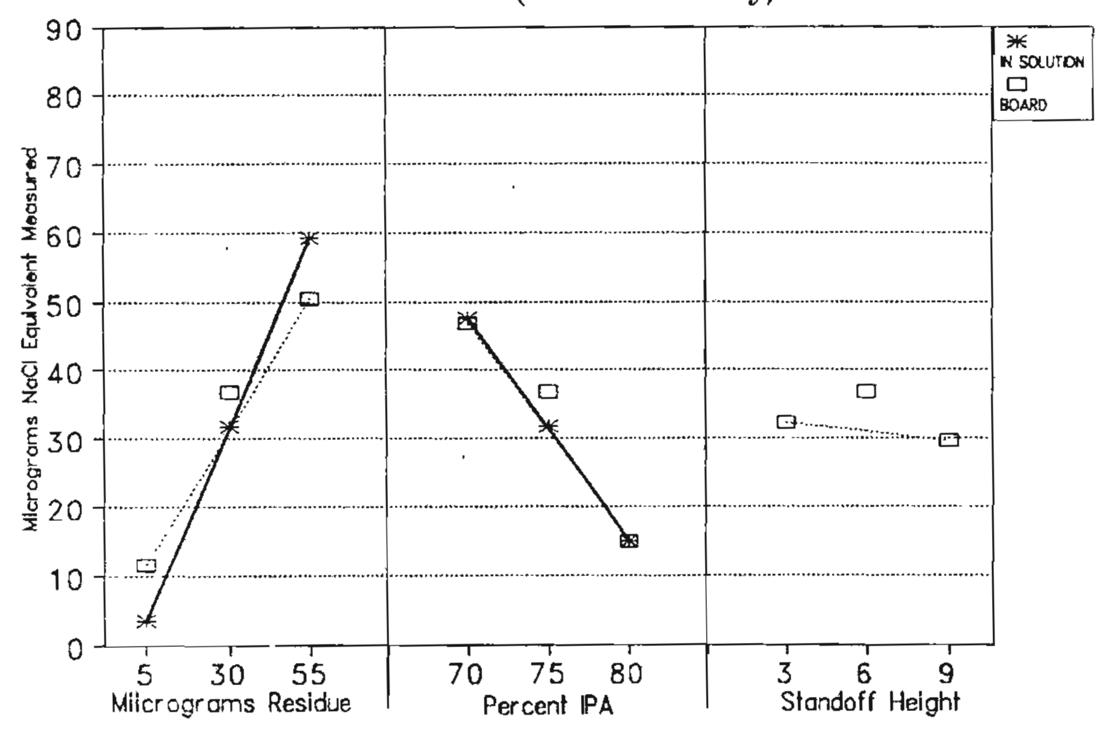
TABLE OF EFFECTS (Board Tests: Total)

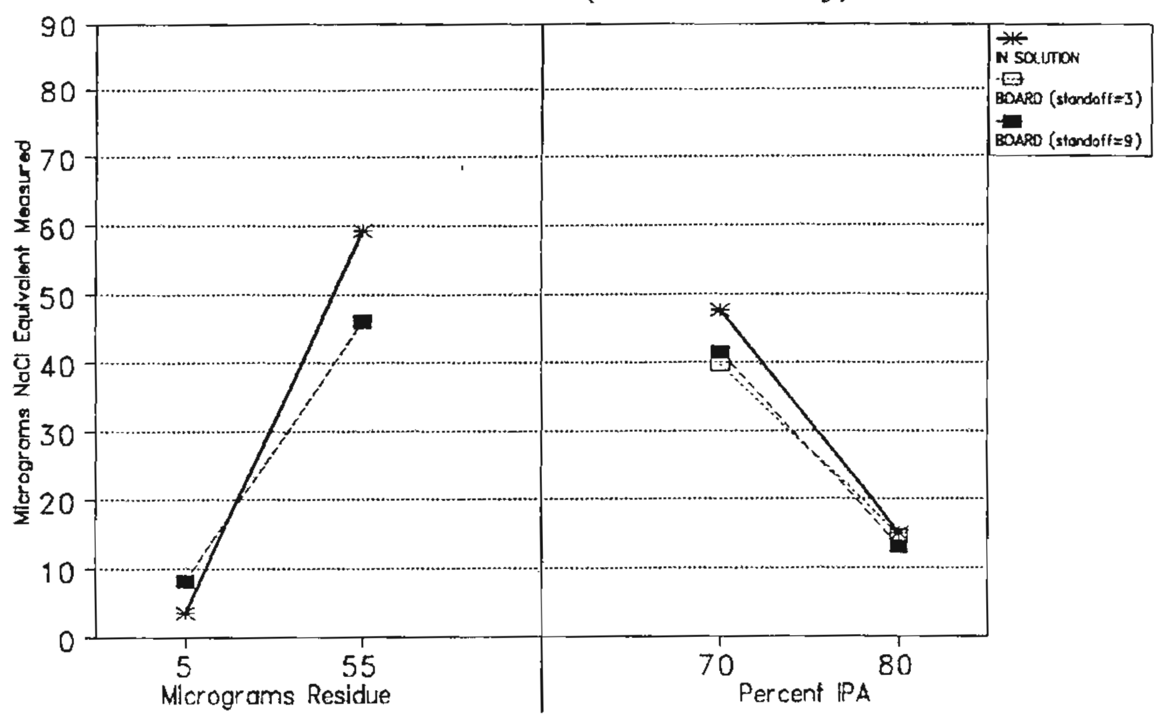
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	34.01*	32.66*	31.03*	5.68*	22.01*	17.93*	13.14*	18.27*	15.06*
MAIN									
Residue (R)	51.55*	42.86*	38.89*	6.59*	17.82*	17.01*	11.33*	7.33*	13.66*
IPA (I)	-23.88*	-42.32*	-31.83*	-0.61	-27.52*	-14.33*		-4.79*	6.29x
Volume (V)					-1.23	-10.13*	-2.23	3.88	
Channel (C)	2.88	-1.90	-2.79	0.49	-0.37	0.69	0.12	-1.00	-4.49
Heat (H)						6.69*		1.61	
INTERACTION									
R*I	-18.80*	-23.04*	-20.27*	-1.54	-6.37x	-4.13*	-5.68*	-2.46	-3.66
R*V					-2.48	0.07	-0.01	-0.35	
R*C	0.00	-3.50	-0.30	-0.44	-1.09	-3.11x	-0.81	-1.21	4.51
R*H						3.14x		2.72	
I*V					-6.72x	-1.34	0.98	1.78	
I*C	3.38	-6.65	0.06	0.26	-0.03	0.43	1.63	-0.58	-2.31
I*H						0.13		4.85	
V*C					1.56	1.53	-1.54	2.20	
V*H						1.03		-3.12	
C*H						-3.94*		-2.53	
R*I*V					-2.42		1.96		
R*I*C	4.77	-3.11	3.99	-0.31	-2.36		-0.24		6.09x
R*V*C					3.58		0.36		
I*V*C					-4.41		-0.11		
CENTER	53.69*	47.23*	5.84	1.79	9.72x	1.53	8.26*	0.15	1.48

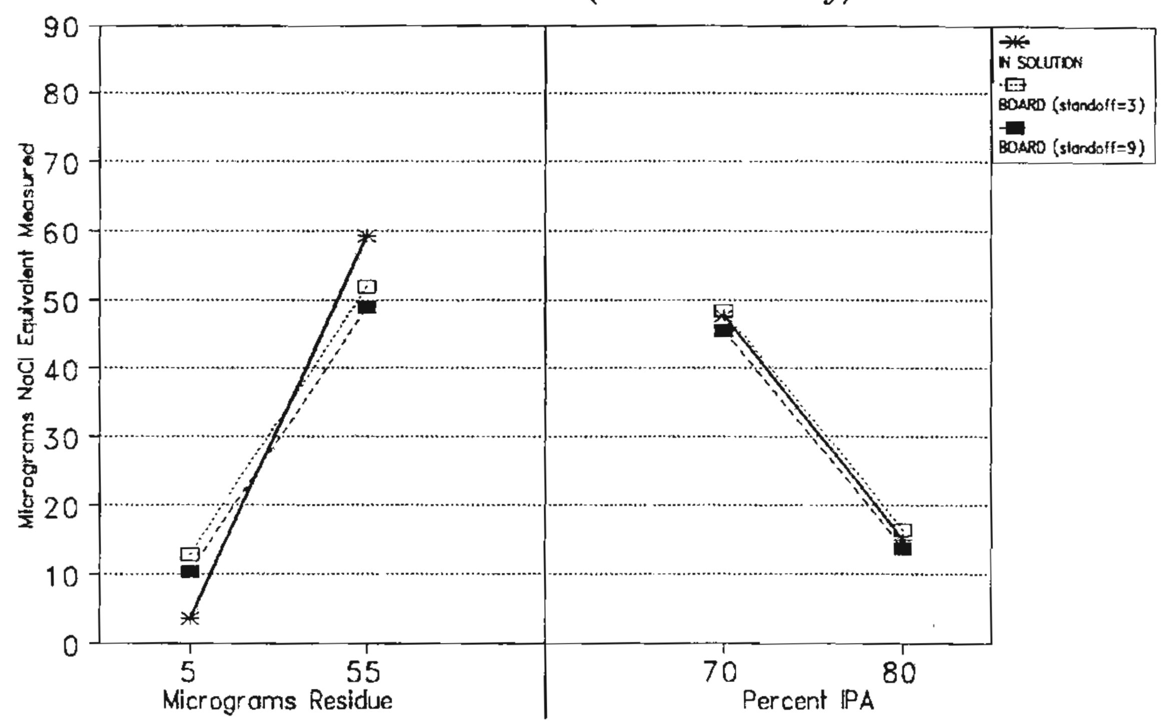
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

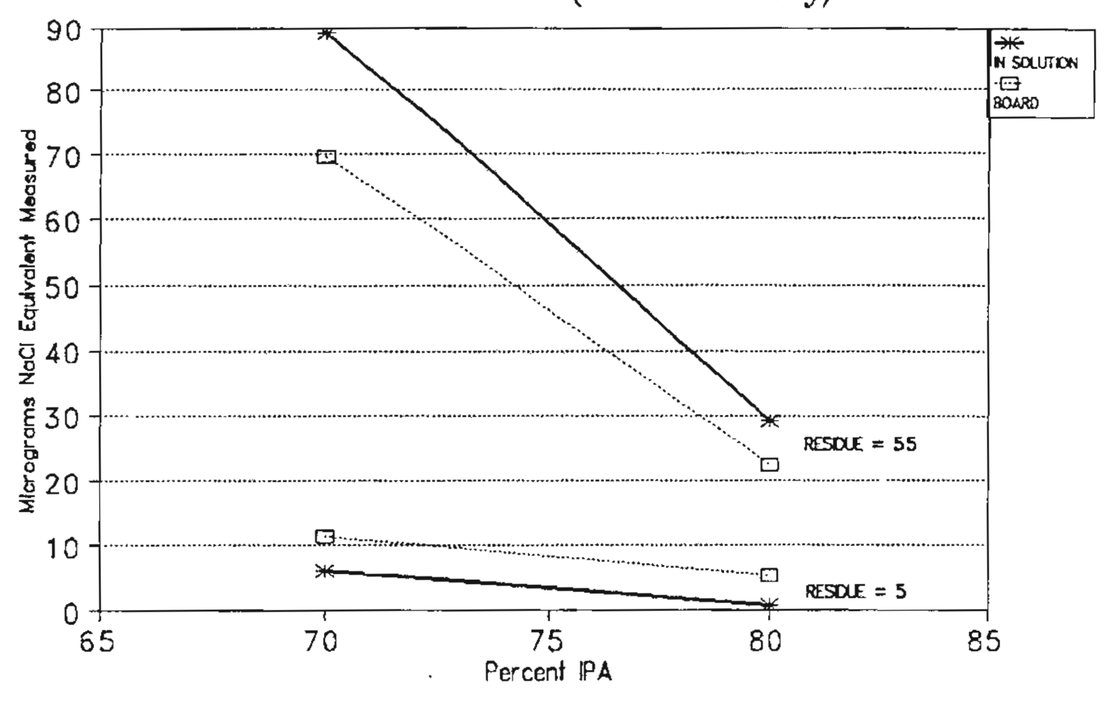
278

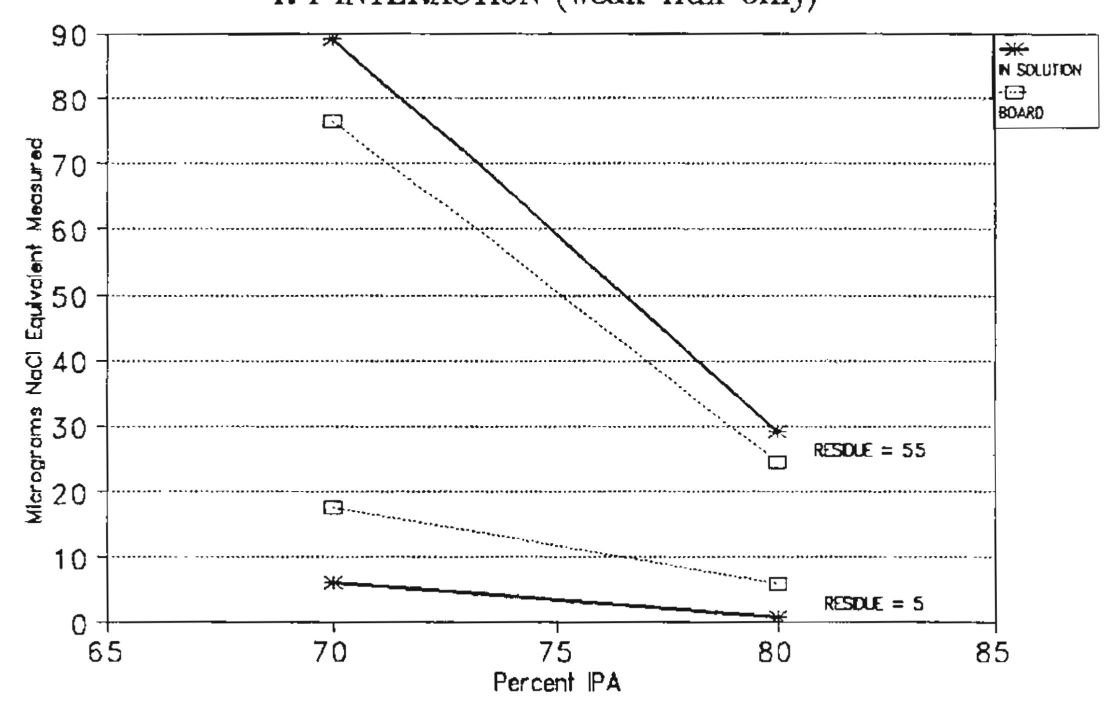

IONOGRAPH 500SMD : Board w/Block
MAIN EFFECTS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
IN SOLUTION
BOARD
5
30
55
Micrograms Residue
70
75
80
Percent IPA
3
6
9
Standoff Height

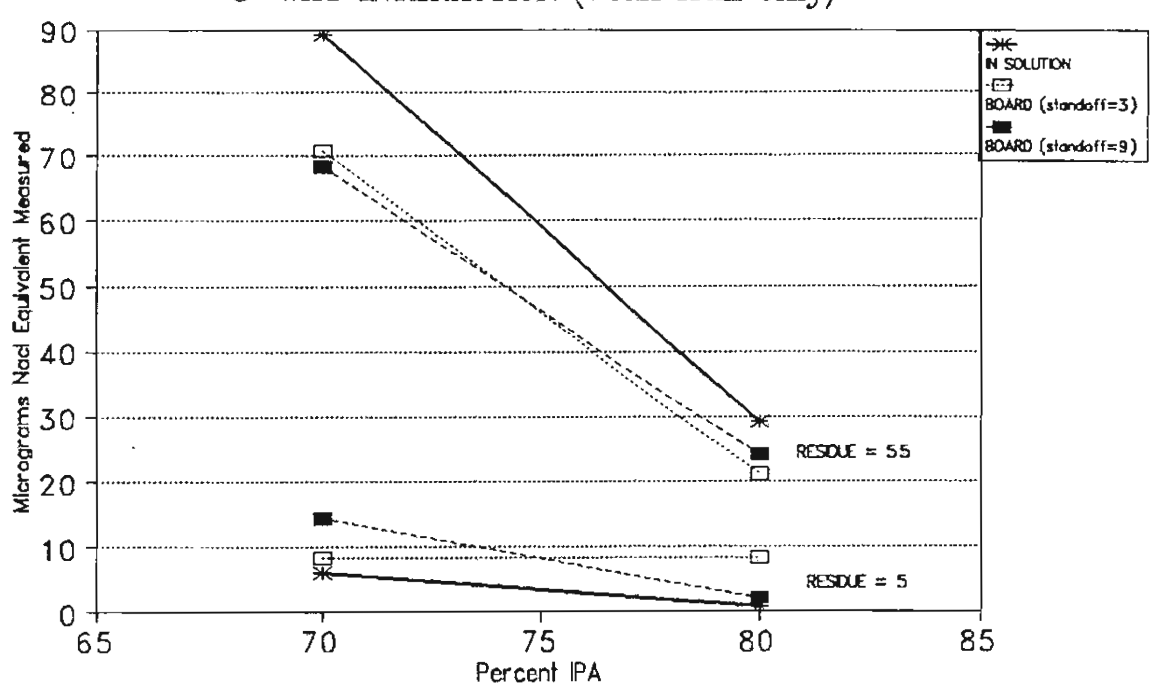

IONOGRAPH 500SMD : Board Total
MAIN EFFECTS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
IN SOLUTION
BOARD
5
30
55
Milcrograms Residue
70
75
80
Percent IPA
3
6
9
Standoff Height

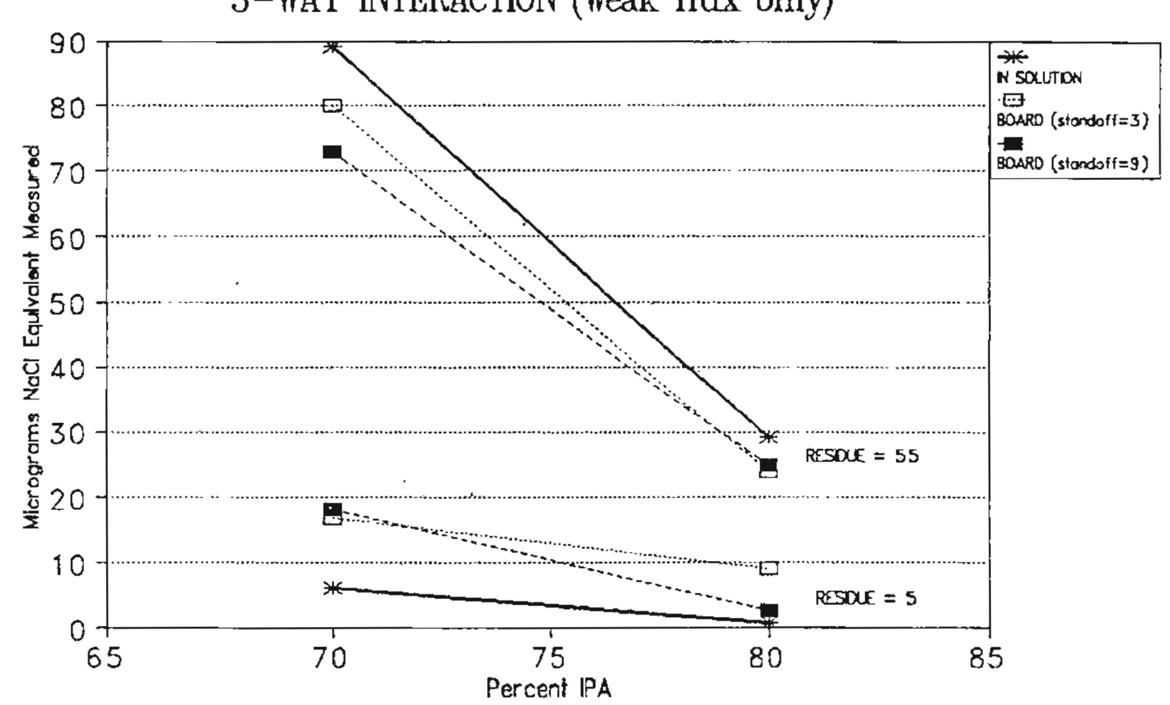

IONOGRAPH 500SMD : Board w/Block
2-WAY INTERACTIONS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


IONOGRAPH 500SMD : Board Total
2-WAY INTERACTIONS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


IONOGRAPH 500SMD : Board w/Block
R*I INTERACTION (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
65
70
75
80
85
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD
RESDUE = 55
RESDUE = 5


IONOGRAPH 500SMD : Board Total
R*I INTERACTION (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
65
70
75
80
85
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD
RESDUE = 55
RESDUE = 5


IONOGRAPH 500SMD : Board w/Block
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Micrograms Nacl Equivalent Measured
65
70
75
80
85
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5


IONOGRAPH 500SMD : Board Total
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Micrograms NaCl Equivalent Measured
65
70
75
80
85
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5

IONOGRAPH 500SMD
IN SOLUTION TEST (weak flux)

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	31.319	0.8484	36.92	0.000	*
R	27.9013	0.8484	32.89	0.000	*
I	-16.2838	0.8484	-19.19	0.000	*
R*I	-13.6562	0.8484	-16.10	0.001	*
CTR.PT	0.531	1.625	0.33	0.765	

s = 1.959 R-sq = 99.9% R-sq(adj) = 99.7%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	4	8764.1	2191.0	570.73	0.000
Error	3	11.5	3.8		
Total	7	8775.6			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	6319.3
I	1	1449.7
R*I	1	994.6
CTR.PT	1	0.4

IONOGRAPH 500SMD
BOARD TEST w/BLOCK

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	27.208	3.490	7.80	0.000	*
R	18.903	3.490	5.42	0.002	*
I	-13.347	3.490	-3.82	0.009	*
C	0.060	3.490	0.02	0.987	
R*I	-10.262	3.490	-2.94	0.026	*
R*C	0.082	3.490	0.02	0.982	
I*C	-0.850	3.490	-0.24	0.816	
R*I*C	2.218	3.490	0.64	0.549	
CTR.PT	6.479	7.450	0.87	0.418	

s = 11.40 R-sq = 92.1% R-sq(adj) = 81.5%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	9080.3	1135.0	8.73	0.008
Error	6	779.7	130.0		
Total	14	9860.1			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	5980.0
I	1	1811.9
C	1	1.4
R*I	1	1123.4
R*C	1	5.2
I*C	1	7.7
R*I*C	1	52.5
CTR.PT	1	98.3

IONOGRAPH 500SMD
BOARD TEST TOTAL

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	31.034	3.236	9.59	0.000	*
R	19.447	3.236	6.01	0.001	*
I	-15.917	3.236	-4.92	0.003	*
C	-1.393	3.236	-0.43	0.682	
R*I	-10.134	3.236	-3.13	0.020	*
R*C	-0.151	3.236	-0.05	0.964	
I*C	0.031	3.236	0.01	0.993	
R*I*C	1.993	3.236	0.62	0.561	
CTR.PT	5.839	6.906	0.85	0.430	

s = 10.57   R-sq = 93.8%   R-sq(adj) = 85.5%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	10124.3	1265.5	11.33	0.004
Error	6	670.0	111.7		
Total	14	10794.4			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	6251.8
I	1	2623.2
C	1	23.6
R*I	1	1095.5
R*C	1	8.0
I*C	1	0.0
R*I*C	1	42.4
CTR.PT	1	79.8

PROTONIQUE

CONTAMINOMETER CM5 (dynamic)

Dynamic
Unheated
No Spray

CONTAMINOMETER CM5/DYNAMIC MODE
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
PWB/WEAK FLUX TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C	A AMOUNT OF RESIDUE (μGR/IN²)	B IPA (VOL%)	C CHANNEL DEPTH (MILS)	IONIC READING W/BLOCK	IONIC READING WO/BLOCK	TEST DURATION W/BLK	TEST DURATION WO/BLK	TEST CELL TEMP. W/BLK	TEST CELL TEMP. WO/BLK
1	2	+ - -	55	70	3	2.5	3.5	1:36	1:36	76°F	76°F
2	6	+ - +	55	70	9	7.9	2.3	3:16	1:36	75°F	75°F
3	1	- - -	5	70	3	0.7	0.7	1:36	1:36	75°F	75°F
4	5	- - +	5	70	9	0.8	0.4	1:36	1:36	75°F	75°F
5	9	0 0 0	30	75	6	7.0	0.8	3:16	1:36	75°F	75°F
6	10	0 0 0	30	75	6	6.4	1.1	4:56	1:36	75°F	75°F
7	11	0 0 0	30	75	6	5.1	2.0	3:16	1:36	75°F	75°F
8	7	- + +	5	80	9	2.1	1.5	1:36	1:36	74°F	74°F
9	3	- + -	5	80	3	0.8	1.3	1:36	1:36	75°F	75°F
10	4	+ + -	55	80	3	3.6	4.3	3:16	3:16	76°F	76°F
11	8	+ + +	55	80	9	5.9	2.0	3:16	1:36	76°F	76°F
12	2	+ - -	55	70	3	13.3	0.7	8:16	1:36	76°F	76°F
13	6	+ - +	55	70	9	8.8	1.2	3:16	1:36	76°F	76°F
14	1	- - -	5	70	3	0.7	1.4	1:36	1:36	76°F	76°F
15	5	- - +	5	70	9	1.4	1.6	1:36	1:36	76°F	76°F

IPC-TR-583

288

TABLE OF EFFECTS (Board Tests with Blocks)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	32.59*	18.77*	27.21*	3.81*	15.33*	14.68*	10.73*	12.81*	9.29*
MAIN									
Residue (R)	50.88*	24.01*	37.81*	5.26*	12.28*	16.60*	10.19*	7.21*	11.83*
IPA (I)	-21.88*	-35.43*	-26.69*	-1.41	-20.51*	-11.30*		-4.39*	2.38
Volume (V)					-2.17	-4.63*	-0.93	3.18*	
Channel (C)	5.12	10.27*	0.12	1.11	1.89	0.88	0.05	-1.99	-1.05
Heat (H)						6.94*		2.12	
INTERACTION									
R*I	-17.27*	-22.08*	-20.52*	-1.96	-6.18*	-4.69*	-4.99*	-1.37	0.13
R*V					-3.92x	0.81	0.13	-0.49	
R*C	1.28	7.14	0.16	0.26	0.24	-3.16*	0.13	0.06	0.85
R*H						3.10*		1.86	
I*V					-7.98*	-3.39*	-0.48	1.54	
I*C	1.68	-8.29	-1.70	0.69	1.26	0.64	1.55	-0.89	-3.20
I*H						-0.30		2.88x	
V*C					0.29	1.19	-0.81	1.48	
V*H						1.28	0.13	-1.60	
C*H						-3.73*		-1.82	
R*I*V					-2.18		0.33		
R*I*C	3.83	-5.34	4.44	0.24	-1.14		0.34		0.10
R*V*C					1.92		0.56		
I*V*C					-3.44x		-0.74		
CENTER	53.68*	48.85*	6.48	2.36	16.11*	-0.05	10.00*	1.13	2.45

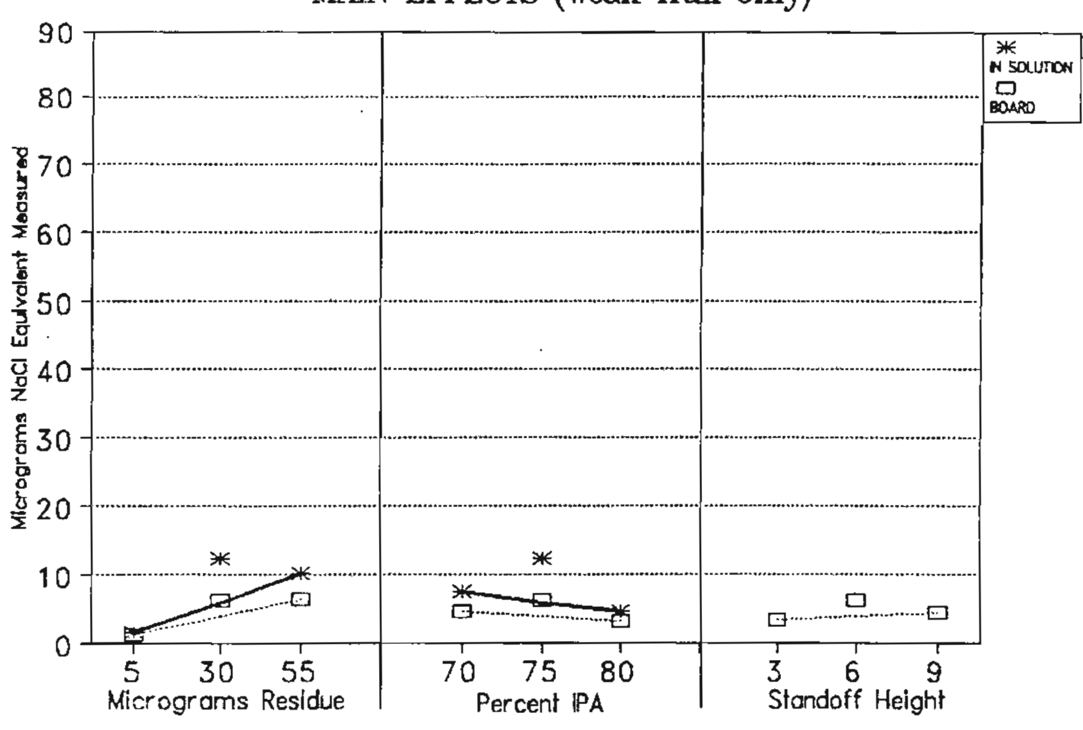
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

TABLE OF EFFECTS (Board Tests: Total)

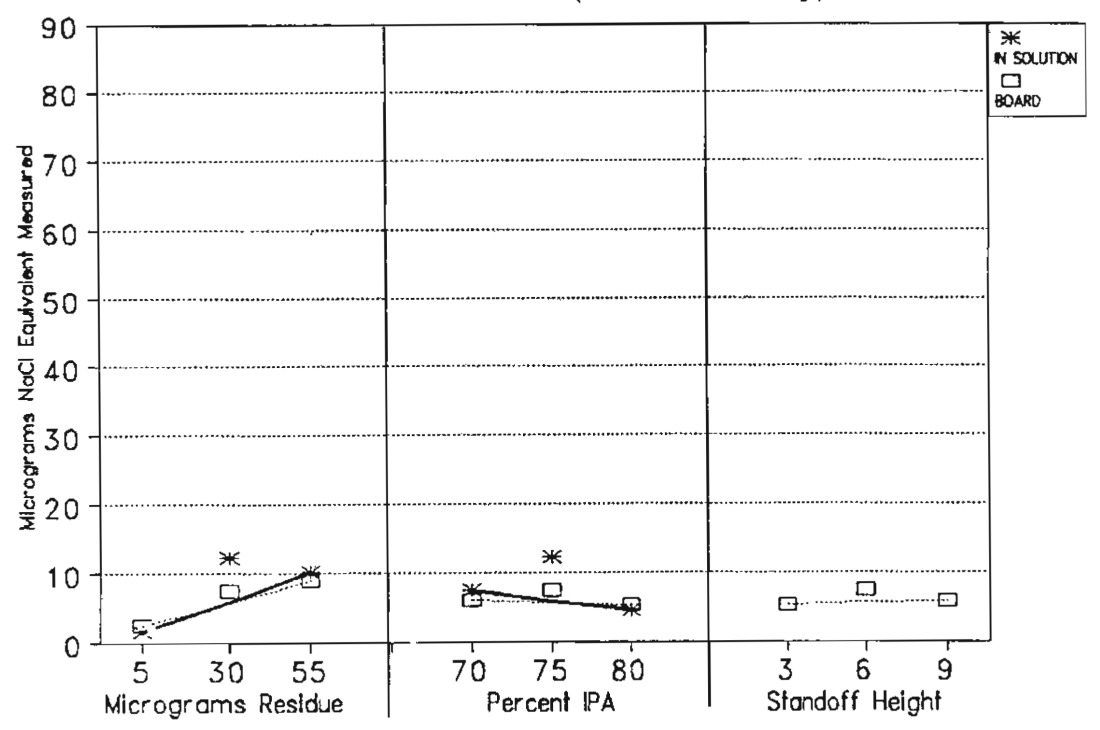
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	34.01*	32.66*	31.03*	5.68*	22.01*	17.93*	13.14*	18.27*	15.06*
MAIN									
Residue (R)	51.55*	42.86*	38.89*	6.59*	17.82*	17.01*	11.33*	7.33*	13.66*
IPA (I)	-23.88*	-42.32*	-31.83*	-0.61	-27.52*	-14.33*		-4.79*	6.29x
Volume (V)					-1.23	-10.13*	-2.23	3.88	
Channel (C)	2.88	-1.90	-2.79	0.49	-0.37	0.69	0.12	-1.00	-4.49
Heat (H)						6.69*		1.61	
INTERACTION									
R*I	-18.80*	-23.04*	-20.27*	-1.54	-6.37x	-4.13*	-5.68*	-2.46	-3.66
R*V					-2.48	0.07	-0.01	-0.35	
R*C	0.00	-3.50	-0.30	-0.44	-1.09	-3.11x	-0.81	-1.21	4.51
R*H						3.14x		2.72	
I*V					-6.72x	-1.34	0.98	1.78	
I*C	3.38	-6.65	0.06	0.26	-0.03	0.43	1.63	-0.58	-2.31
I*H						0.13		4.85	
V*C					1.56	1.53	-1.54	2.20	
V*H						1.03		-3.12	
C*H						-3.94*		-2.53	
R*I*V					-2.42		1.96		
R*I*C	4.77	-3.11	3.99	-0.31	-2.36		-0.24		6.09x
R*V*C					3.58		0.36		
I*V*C					-4.41		-0.11		
CENTER	53.69*	47.23*	5.84	1.79	9.72x	1.53	8.26*	0.15	1.48

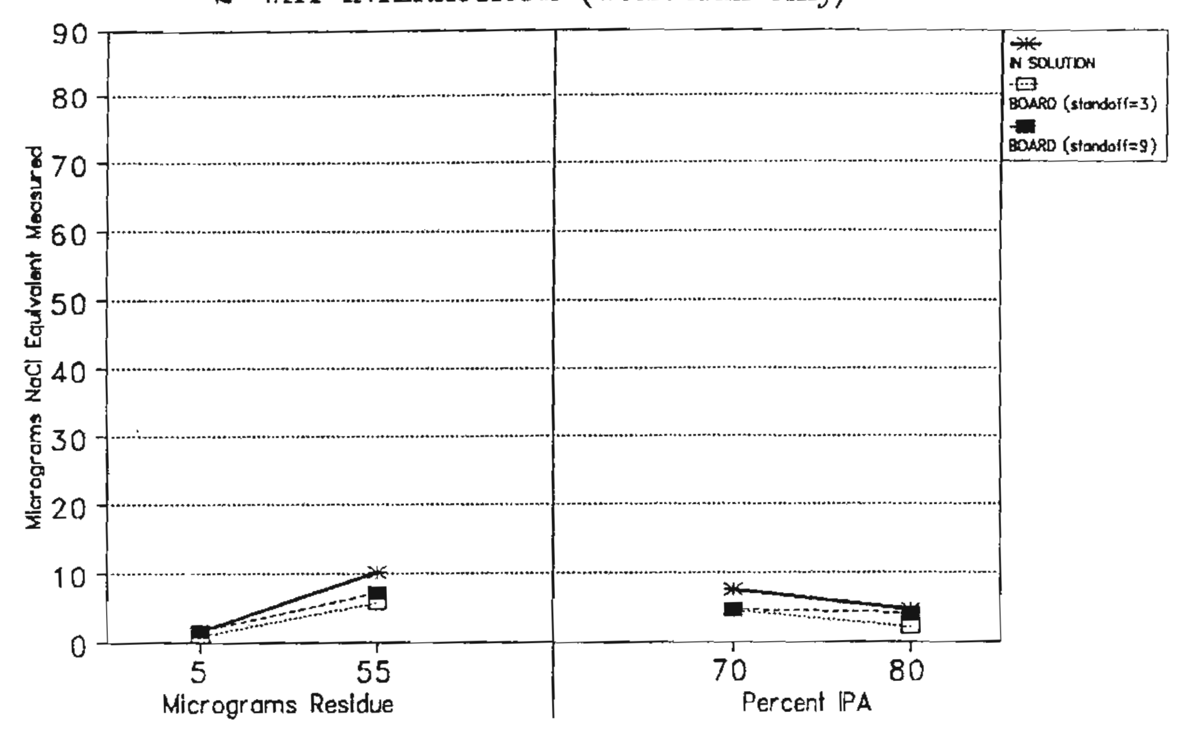
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

CONTAMINOMETER (dynamic): Board w/Block
MAIN EFFECTS (weak flux only)

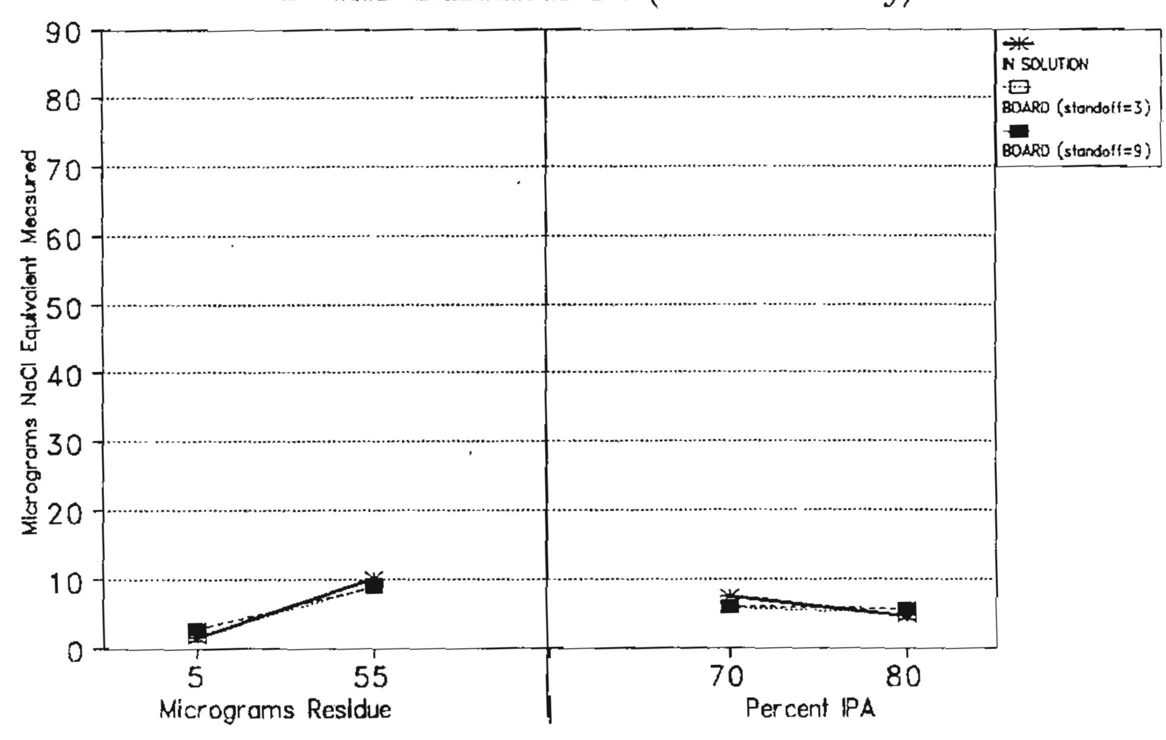


CONTAMINOMETER (dynamic) ; Board Total
MAIN EFFECTS (weak flux only)

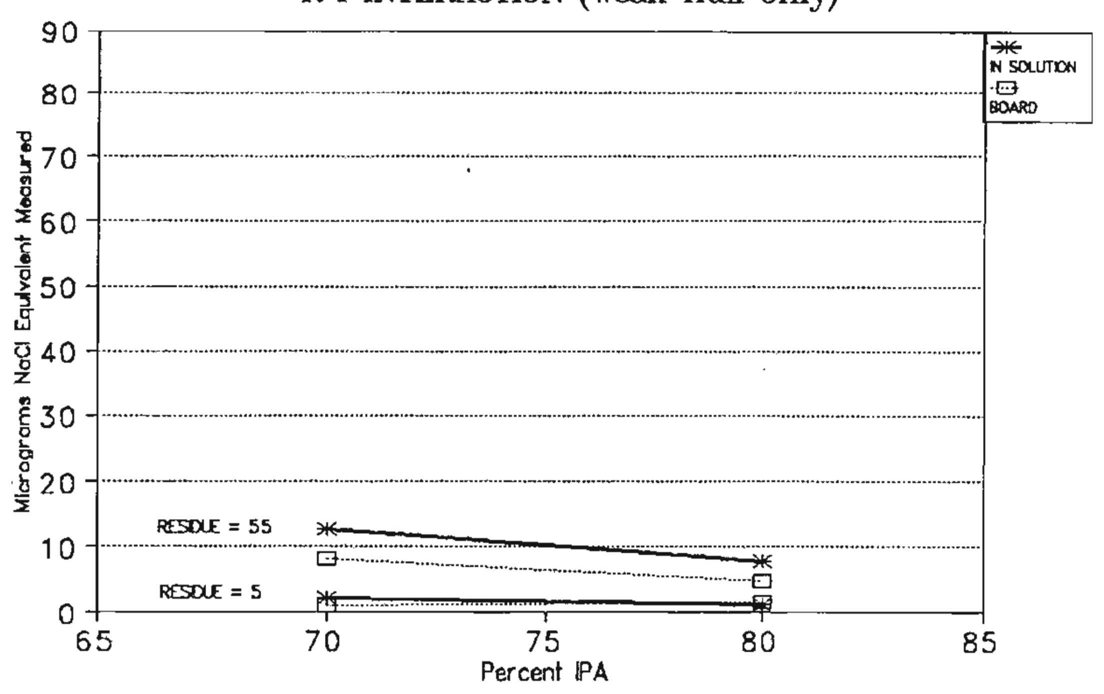


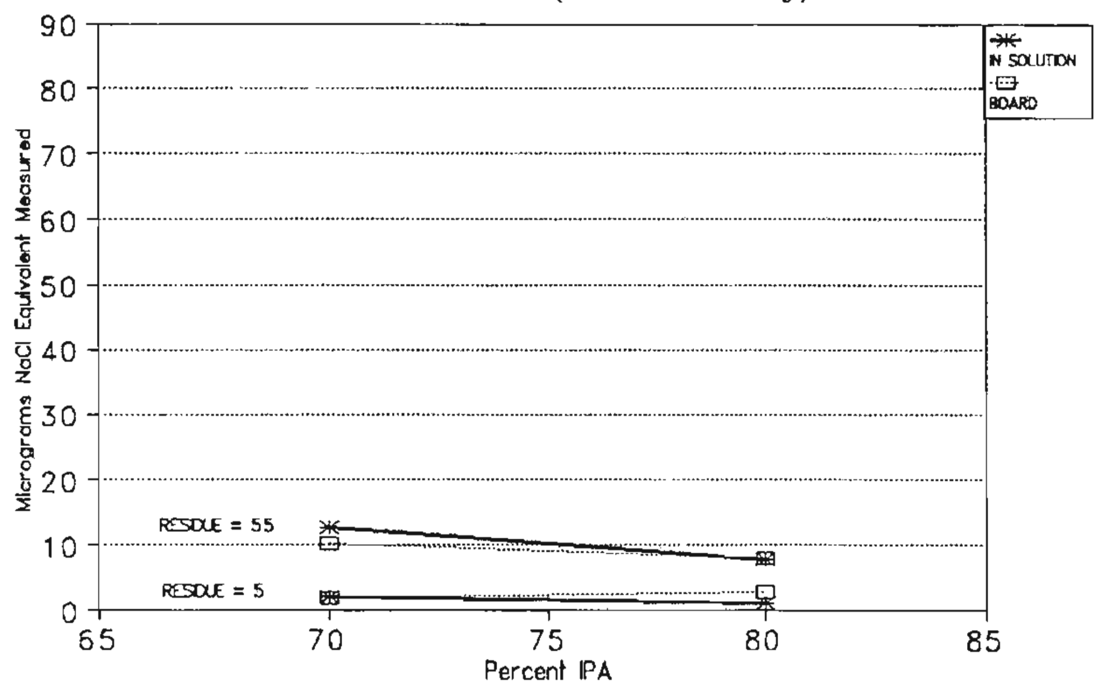


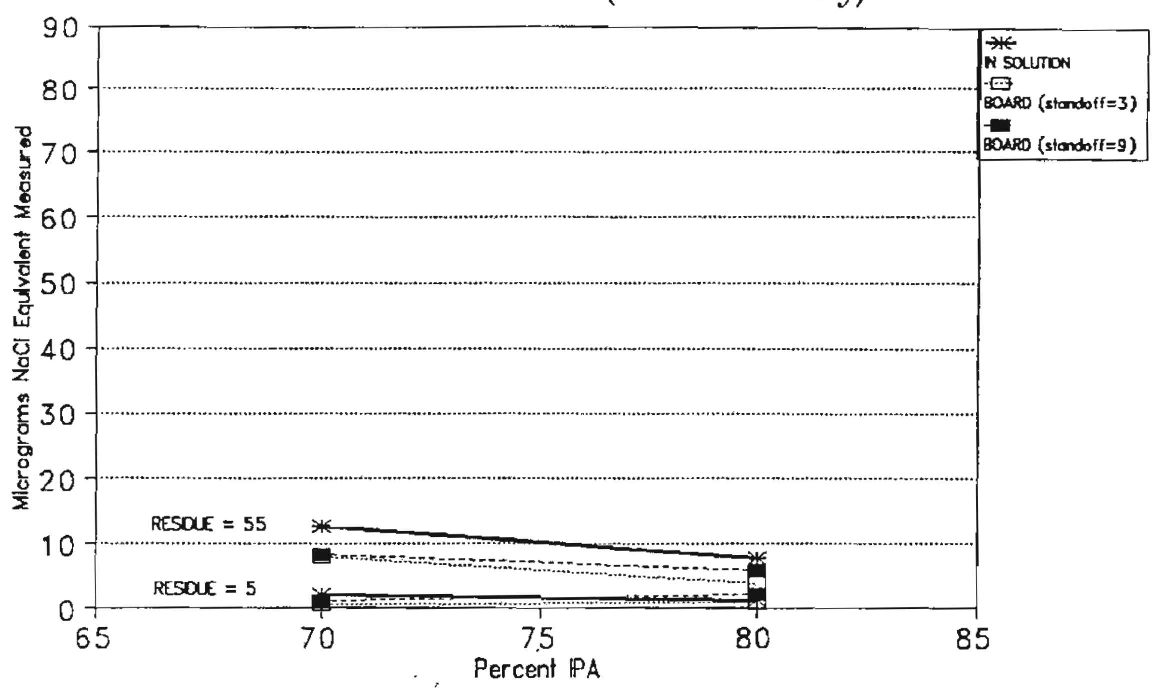
CONTAMINOMETER (dynamic): Board w/Block
2-WAY INTERACTIONS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)

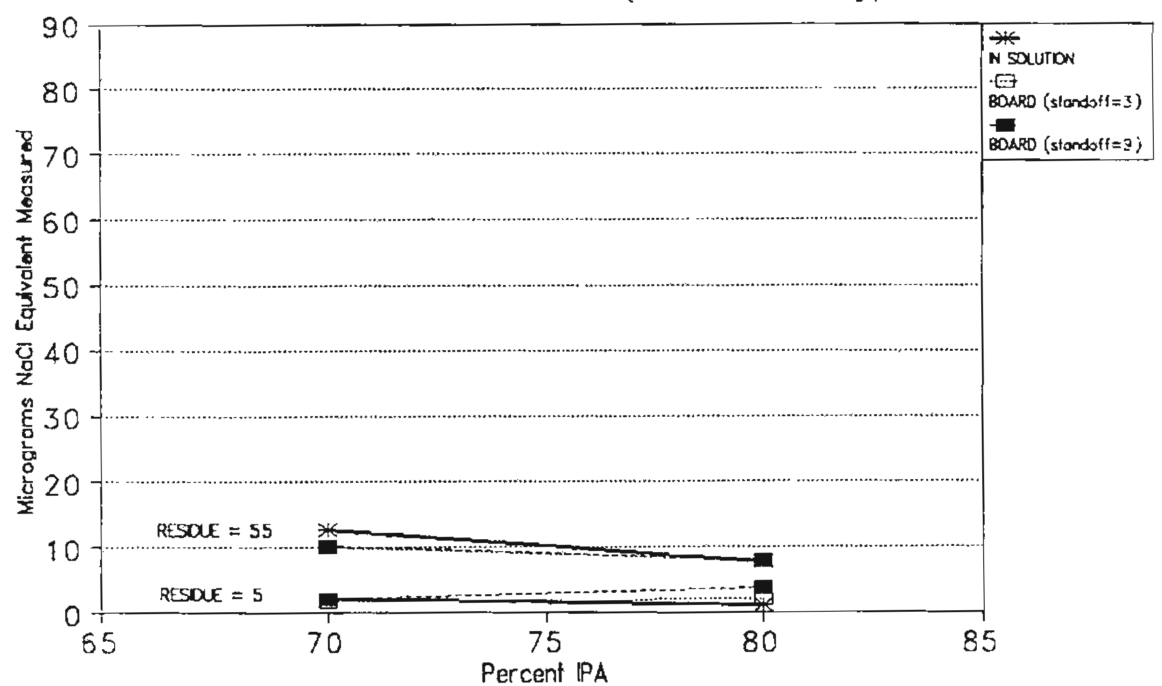


CONTAMINOMETER (dynamic) : Board Total
2-WAY INTERACTIONS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


CONTAMINOMETER (dynamic): Board w/Block
R*I INTERACTION (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85


CONTAMINOMETER (dynamic) : Board Total
R*I INTERACTION (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85


CONTAMINOMETER (dynamic): Board w/Block
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85


CONTAMINOMETER (dynamic) : Board Total
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85

CONTAMINOMETER CM-5 (dynamic)
IN SOLUTION TEST (weak flux)

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	5.887	0.9050	6.50	0.008	*
R	4.2375	0.9050	4.68	0.018	*
I	-1.4375	0.9050	-1.59	0.210	
R*I	-0.9875	0.9050	-1.09	0.355	
CTR.PT	6.413	1.733	3.70	0.034	*

s = 2.090 R-sq = 93.7% R-sq(adj) = 85.2%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	4	194.155	48.539	11.11	0.038
Error	3	13.105	4.368		
Total	7	207.260			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	125.127
I	1	4.016
R*I	1	5.201
CTR.PT	1	59.811

CONTAMINOMETER CM-5 (dynamic)
BOARD TEST w/BLOCK

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	3.807	0.9746	3.91	0.008	*
R	2.6313	0.9746	2.70	0.036	*
I	-0.7063	0.9746	-0.72	0.496	
C	0.5563	0.9746	0.57	0.589	
R*I	-0.9813	0.9746	-1.01	0.353	
R*C	0.1313	0.9746	0.13	0.897	
I*C	0.3437	0.9746	0.35	0.736	
R*I*C	0.1188	0.9746	0.12	0.907	
CTR.PT	2.360	2.080	1.13	0.300	

s = 3.183 R-sq = 69.0% R-sq(adj) = 27.7%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	135.30	16.91	1.67	0.274
Error	6	60.79	10.13		
Total	14	196.09			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	105.02
I	1	3.11
C	1	2.34
R*I	1	10.27
R*C	1	0.10
I*C	1	1.26
R*I*C	1	0.15
CTR.PT	1	13.05

Unusual Observations

Obs.	R	CM5D.B	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
1	1.00	2.500	7.900	2.251	-5.400	-2.40R
10	1.00	13.300	7.900	2.251	5.400	2.40R

CONTAMINOMETER CM-5 (dynamic)
BOARD TEST TOTAL

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	5.682	0.7303	7.78	0.000	*
R	3.2938	0.7303	4.51	0.004	*
I	-0.3062	0.7303	-0.42	0.690	
C	0.2437	0.7303	0.33	0.750	
R*I	-0.7687	0.7303	-1.05	0.333	
R*C	-0.2188	0.7303	-0.30	0.775	
I*C	0.1313	0.7303	0.18	0.863	
R*I*C	-0.1562	0.7303	-0.21	0.838	
CTR.PT	1.785	1.559	1.15	0.296	

s = 2.385 R-sq = 83.0% R-sq(adj) = 60.3%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	166.592	20.824	3.66	0.066
Error	6	34.132	5.689		
Total	14	200.724			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	151.230
I	1	0.337
C	1	0.480
R*I	1	6.304
R*C	1	0.333
I*C	1	0.184
R*I*C	1	0.260
CTR.PT	1	7.464

Unusual Observations

Obs.	R	CM5D.T	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
1	1.00	6.000	10.000	1.687	-4.000	-2.37R
10	1.00	14.000	10.000	1.687	4.000	2.37R

IPC-TR-583

ALPHA METALS

OMEGAMETER 600R

Static
Unheated
No spray

OMEGAMETER 600R
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
PWB/WEAK FLUX TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C D	A AMOUNT OF RESIDUE (µGR/IN²)	B IPA (VOL%)	D TEST CELL VOLUME (%FULL)	E CHANNEL DEPTH (MILS)	IONIC READING W/BLK	IONIC READING WO/BLK	TEST DURATION W/BLK	TEST DURATION WO/BLK	TEST CELL TEMP. W/BLK	TEST CELL TEMP. WO/BLK
1	1	- - - -	5	70	46.7	3	11.9	8.8	15:00	15:00	80°F	80°F
2	10	+ - - +	55	70	100	3	33.2	9.3	15:00	15:00	80°F	80°F
3	2	+ - - -	55	70	46.7	3	34.4	18.3	15:00	15:00	80°F	80°F
4	5	- - + -	5	70	46.7	9	9.7	7.1	15:00	15:00	78°F	78°F
5	6	+ - + -	55	70	46.7	9	30.4	7.5	15:00	15:00	80°F	80°F
6	13	- - + +	5	70	100	9	17.8	6.2	15:00	15:00	80°F	80°F
7	9	- - - +	5	70	100	3	25.2	3.9	15:00	15:00	78°F	78°F
8	14	+ - + +	55	70	100	9	39.9	2.6	15:00	15:00	80°F	80°F
9	19	0 0 0 0	30	75	73.3	6	35.3	0.9	15:00	15:00	80°F	80°F
10	17	0 0 0 0	30	75	73.3	6	35.3	0.0	15:00	15:00	80°F	80°F
11	18	0 0 0 0	30	75	73.3	6	23.7	0.0	15:00	15:00	78°F	78°F
12	16	+ + + +	55	80	100	9	0.0	5.3	9:00	9:00	79°F	79°F
13	3	- + - -	5	80	46.7	3	0.0	0.0	6:00	6:00	76°F	76°F
14	11	- + - +	5	80	100	3	0.0	2.0	7:00	7:00	77°F	77°F
15	4	+ + - -	55	80	46.7	3	14.0	8.0	15:00	15:00	78°F	78°F
16	15	- + + +	5	80	100	9	0.0	0.0	5:00	5:00	80°F	80°F
17	12	+ + - +	55	80	100	3	0.0	9.8	5:00	5:00	80°F	80°F
18	8	+ + + -	55	80	46.7	9	18.5	0.3	15:00	15:00	80°F	80°F
19	7	- + + -	5	80	46.7	9	8.1	0.0	15:00	15:00	80°F	80°F
20	1	- - - -	5	70	46.7	3	14.8	8.9	15:00	15:00	83°F	83°F
21	10	+ - - +	55	70	100	3	31.8	15.0	15:00	15:00	75°F	75°F
22	2	+ - - -	55	70	46.7	3	35.8	11.8	15:00	15:00	76°F	76°F
23	5	- - + -	5	70	46.7	9	13.9	8.5	15:00	15:00	78°F	78°F
24	6	+ - + -	55	70	46.7	9	30.5	11.9	15:00	15:00	78°F	78°F
25	13	- - + +	5	70	100	9	22.5	5.8	15:00	15:00	77°F	77°F
26	9	- - - +	5	70	100	3	15.0	9.4	15:00	15:00	78°F	78°F
27	14	+ - + +	55	70	100	9	42.5	28.0	15:00	15:00	80°F	80°F

TABLE OF EFFECTS (Board Tests with Blocks)

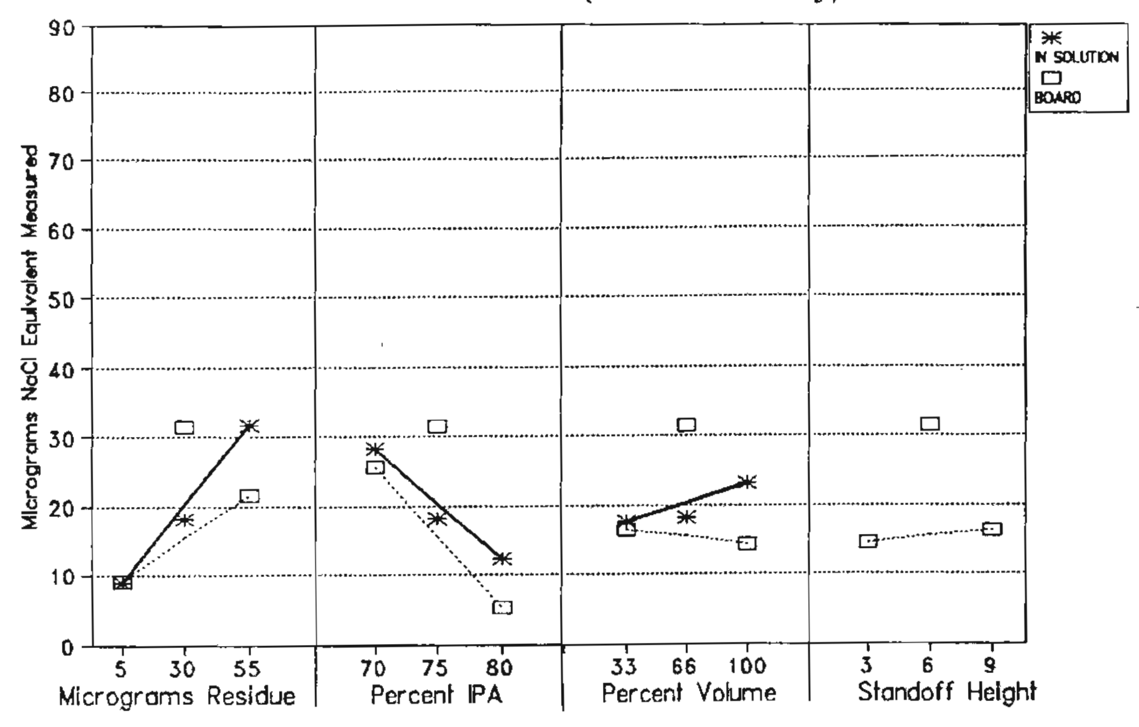
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	32.59*	18.77*	27.21*	3.81*	15.33*	14.68*	10.73*	12.81*	9.29*
MAIN									
Residue (R)	50.88*	24.01*	37.81*	5.26*	12.28*	16.60*	10.19*	7.21*	11.83*
IPA (I)	-21.88*	-35.43*	-26.69*	-1.41	-20.51*	-11.30*		-4.39*	2.38
Volume (V)					-2.17	-4.63*	-0.93	3.18*	
Channel (C)	5.12	10.27*	0.12	1.11	1.89	0.88	0.05	-1.99	-1.05
Heat (H)						6.94*		2.12	
INTERACTION									
R*I	-17.27*	-22.08*	-20.52*	-1.96	-6.18*	-4.69*	-4.99*	-1.37	0.13
R*V					-3.92x	0.81	0.13	-0.49	
R*C	1.28	7.14	0.16	0.26	0.24	-3.16*	0.13	0.06	0.85
R*H						3.10*		1.86	
I*V					-7.98*	-3.39*	-0.48	1.54	
I*C	1.68	-8.29	-1.70	0.69	1.26	0.64	1.55	-0.89	-3.20
I*H						-0.30		2.88x	
V*C					0.29	1.19	-0.81	1.48	
V*H						1.28	0.13	-1.60	
C*H						-3.73*		-1.82	
R*I*V					-2.18		0.33		
R*I*C	3.83	-5.34	4.44	0.24	-1.14		0.34		0.10
R*V*C					1.92		0.56		
I*V*C					-3.44x		-0.74		
CENTER	53.68*	48.85*	6.48	2.36	16.11*	-0.05	10.00*	1.13	2.45

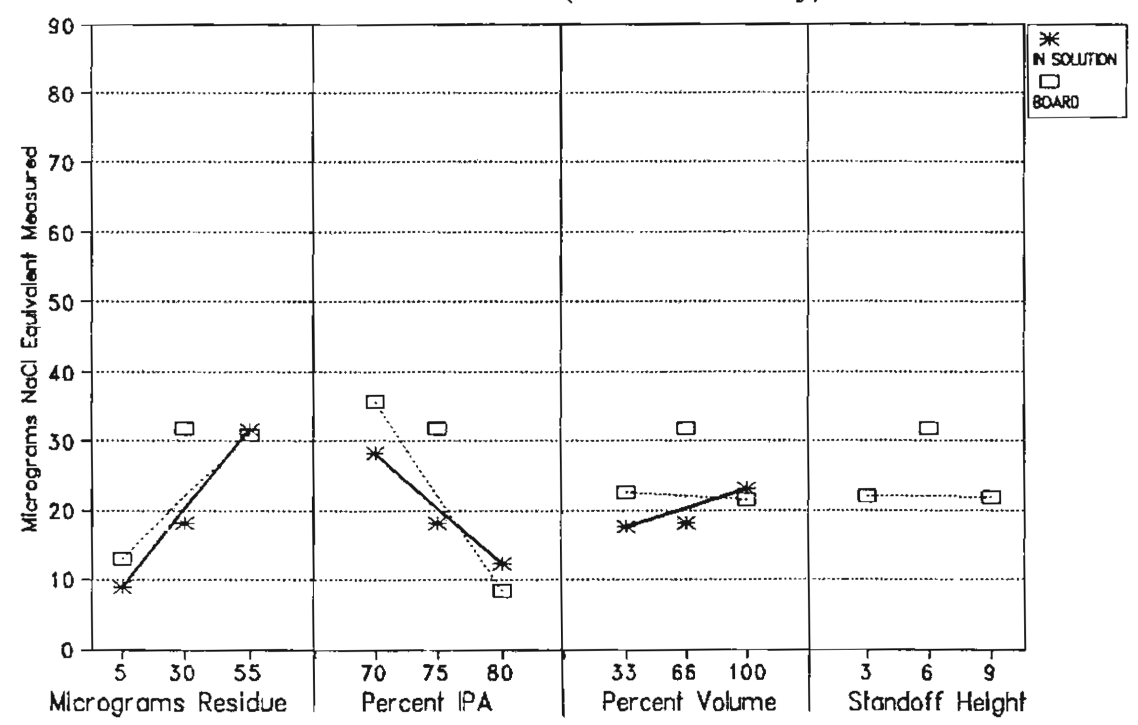
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

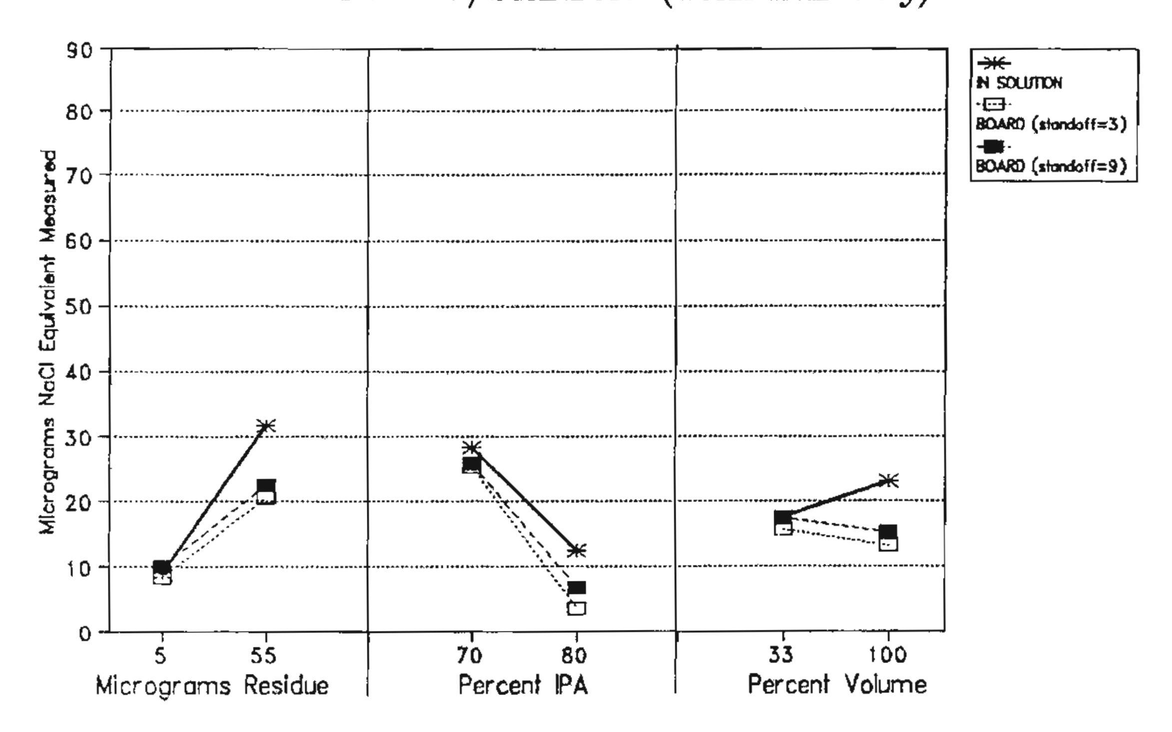
TABLE OF EFFECTS (Board Tests: Total)

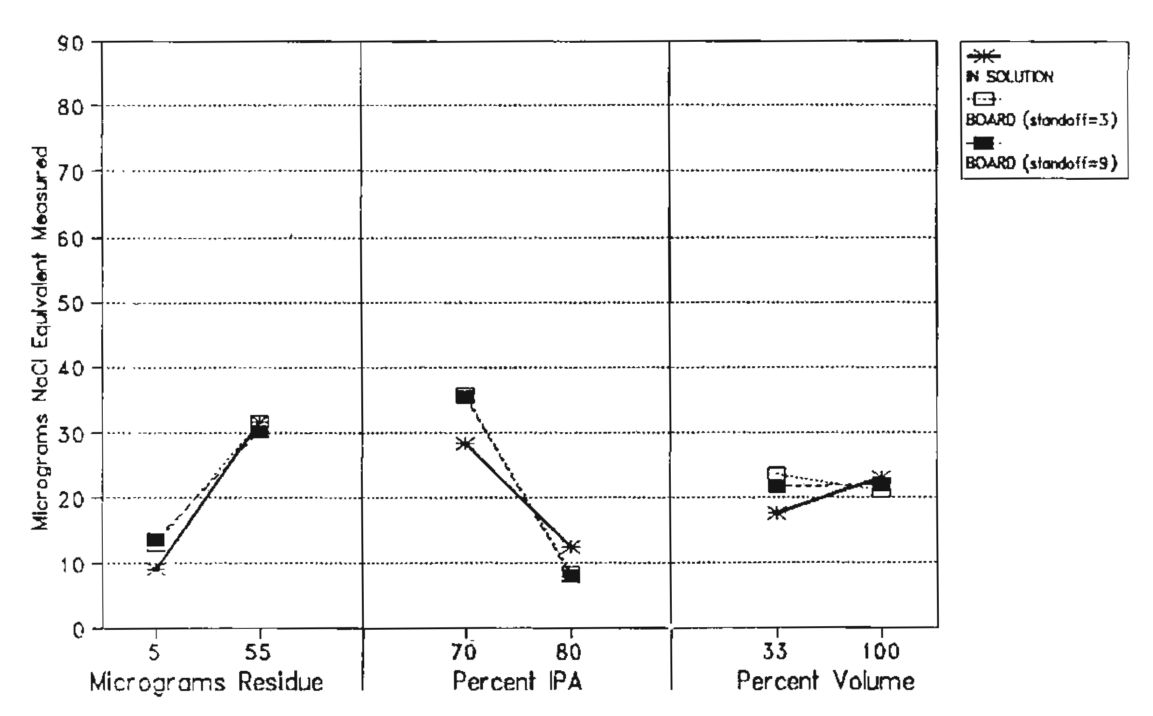
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	34.01*	32.66*	31.03*	5.68*	22.01*	17.93*	13.14*	18.27*	15.06*
MAIN									
Residue (R)	51.55*	42.86*	38.89*	6.59*	17.82*	17.01*	11.33*	7.33*	13.66*
IPA (I)	-23.88*	-42.32*	-31.83*	-0.61	-27.52*	-14.33*		-4.79*	6.29x
Volume (V)					-1.23	-10.13*	-2.23	3.88	
Channel (C)	2.88	-1.90	-2.79	0.49	-0.37	0.69	0.12	-1.00	-4.49
Heat (H)						6.69*		1.61	
INTERACTION									
R*I	-18.80*	-23.04*	-20.27*	-1.54	-6.37x	-4.13*	-5.68*	-2.46	-3.66
R*V					-2.48	0.07	-0.01	-0.35	
R*C	0.00	-3.50	-0.30	-0.44	-1.09	-3.11x	-0.81	-1.21	4.51
R*H						3.14x		2.72	
I*V					-6.72x	-1.34	0.98	1.78	
I*C	3.38	-6.65	0.06	0.26	-0.03	0.43	1.63	-0.58	-2.31
I*H						0.13		4.85	
V*C					1.56	1.53	-1.54	2.20	
V*H						1.03		-3.12	
C*H						-3.94*		-2.53	
R*I*V					-2.42		1.96		
R*I*C	4.77	-3.11	3.99	-0.31	-2.36		-0.24		6.09x
R*V*C					3.58		0.36		
I*V*C					-4.41		-0.11		
CENTER	53.69*	47.23*	5.84	1.79	9.72x	1.53	8.26*	0.15	1.48

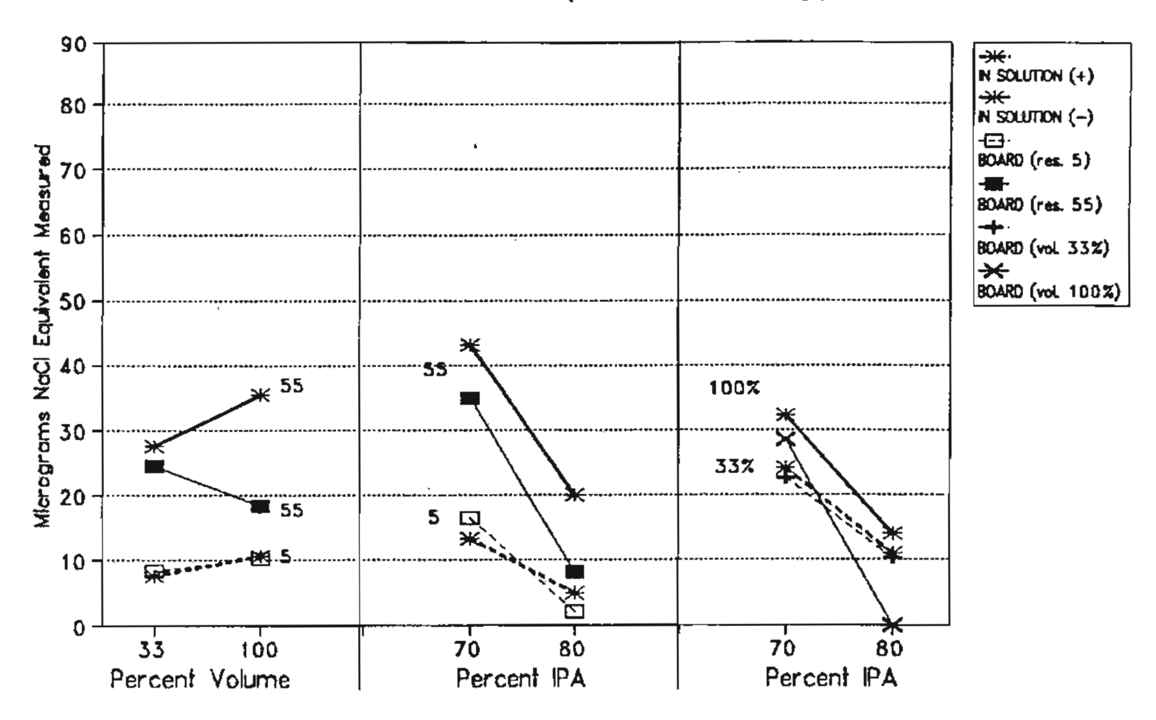
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

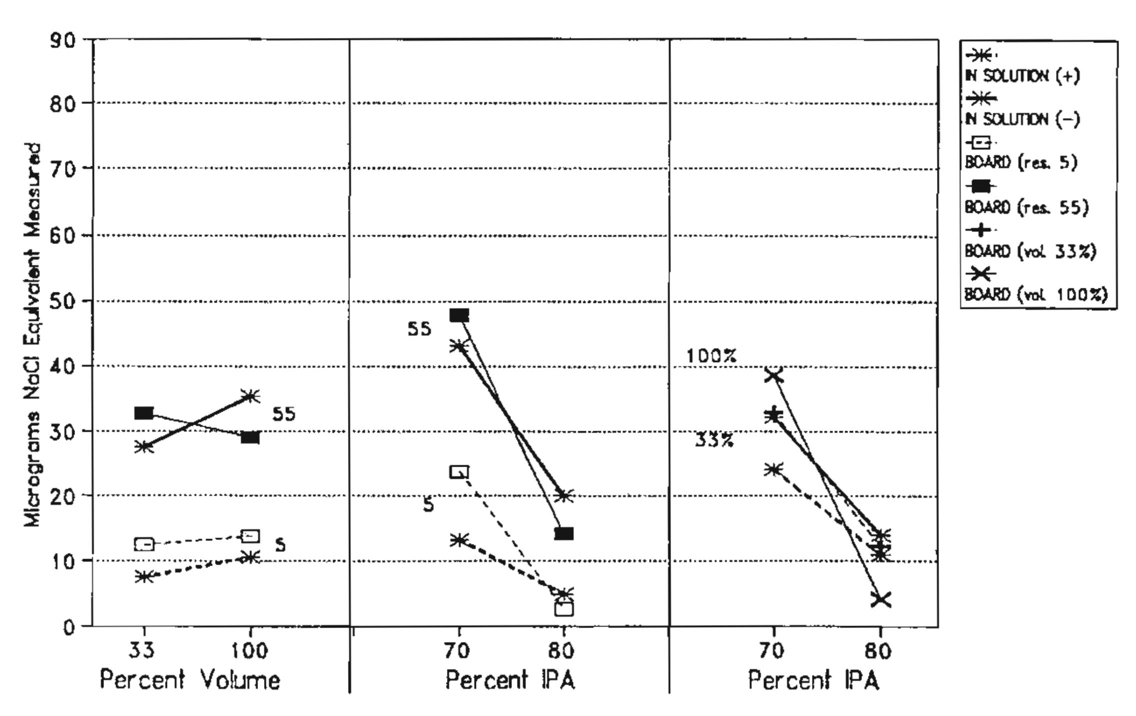

OMEGAMETER 600R : Board w/Block
MAIN EFFECTS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
IN SOLUTION
BOARD
Micrograms Residue
Percent IPA
Percent Volume
Standoff Height

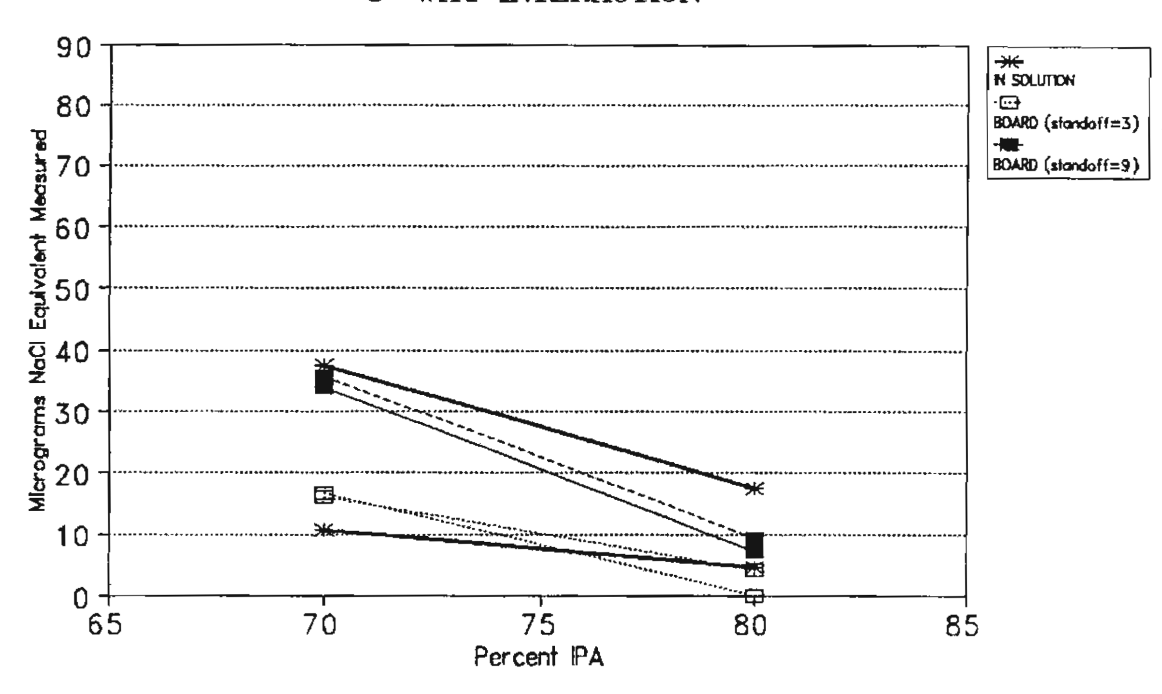

OMEGAMETER 600R : Board Total
MAIN EFFECTS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
IN SOLUTION
BOARD
Micrograms Residue
Percent IPA
Percent Volume
Standoff Height

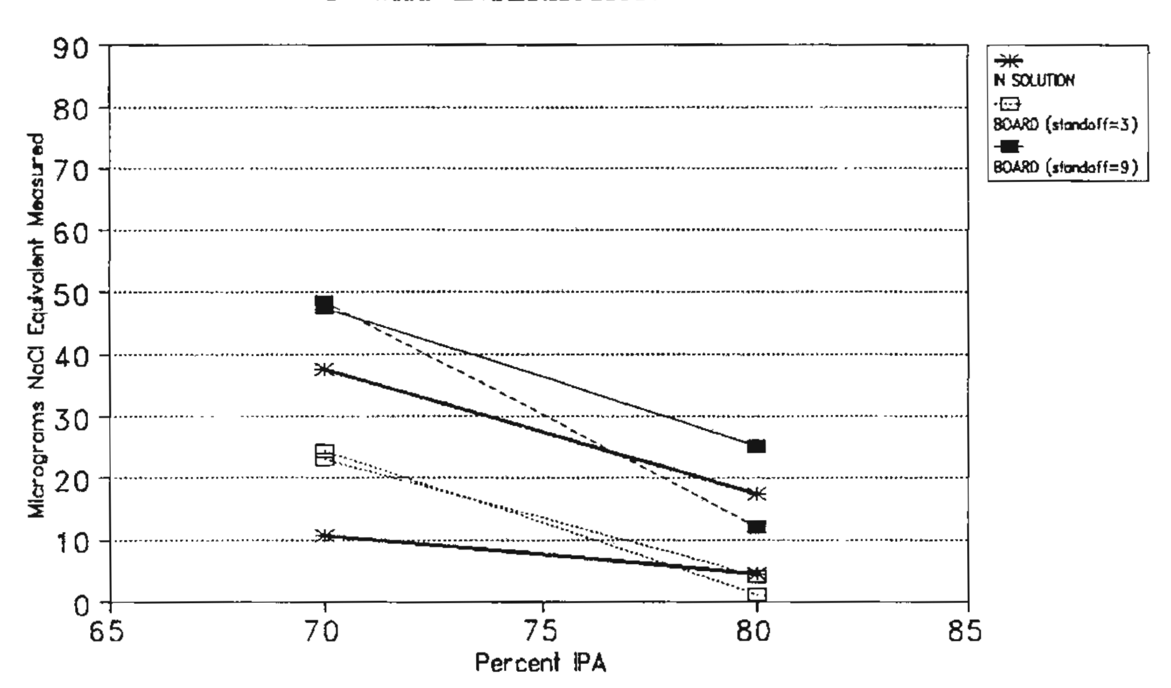

OMEGAMETER 600R : Board w/Block
2-WAY INT. w/STANDOFF (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
33
100
Percent Volume
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


OMEGAMETER 600R : Board Total
2-WAY INT. w/STANDOFF (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
33
100
Percent Volume
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


OMEGAMETER 600R : Board w/Block
OTHER 2-WAY INT. (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
33
100
Percent Volume
70
80
Percent IPA
70
80
Percent IPA
55
55
5
55
5
100%
33%
IN SOLUTION (+)
IN SOLUTION (-)
BOARD (res. 5)
BOARD (res. 55)
BOARD (vol. 33%)
BOARD (vol. 100%)


OMEGAMETER 600R : Board Total
OTHER 2-WAY INT. (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
33
100
Percent Volume
70
80
Percent IPA
70
80
Percent IPA
55
5
55
5
100%
33%
IN SOLUTION (+)
IN SOLUTION (-)
BOARD (res. 5)
BOARD (res. 55)
BOARD (vol. 33%)
BOARD (vol. 100%)


OMEGAMETER 600R : Board w/Block
3-WAY INTERACTION
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
65
70
75
80
85
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


OMEGAMETER 600R : Board Total
3-WAY INTERACTION
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
65
70
75
80
85
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)

OMEGAMETER 600R
IN SOLUTION TEST (weak flux)

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	20.3000	0.1719	118.09	0.000	*
R	11.2500	0.1719	65.44	0.000	*
I	-7.9000	0.1719	-45.95	0.000	*
V	2.7750	0.1719	16.14	0.000	*
R*I	-3.7500	0.1719	-21.81	0.000	*
R*V	1.3833	0.1621	8.53	0.000	*
I*V	-1.3250	0.1719	-7.71	0.000	*
CTR.PT	-2.1500	0.4327	-4.97	0.003	*

s = 0.5615 R-sq = 99.9% R-sq(adj) = 99.9%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	7	2895.78	413.68	1312.12	0.000
Error	6	1.89	0.32		
Total	13	2897.67			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	1875.00
I	1	697.14
V	1	124.16
R*I	1	150.00
R*V	1	22.96
I*V	1	18.73
CTR.PT	1	7.79

IPC-TR-583

OMEGAMETER 600R
BOARD TEST w/BLOCK

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	15.328	0.8957	17.11	0.000	*
R	6.1406	0.8957	6.86	0.000	*
I	-10.2531	0.8957	-11.45	0.000	*
V	-1.0844	0.8957	-1.21	0.254	
C	0.9469	0.8957	1.06	0.315	
R*I	-3.0906	0.8957	-3.45	0.006	*
R*V	-1.9594	0.8957	-2.19	0.054	x
R*C	0.1219	0.8957	0.14	0.894	
I*V	-3.9906	0.8957	-4.46	0.001	*
I*C	0.6281	0.8957	0.70	0.499	
V*C	0.1469	0.8957	0.16	0.873	
R*I*V	-1.0906	0.8957	-1.22	0.251	
R*I*C	-0.5719	0.8957	-0.64	0.538	
R*V*C	0.9594	0.8957	1.07	0.309	
I*V*C	-1.7219	0.8957	-1.92	0.083	x
R*I*V*C	-0.5094	0.8957	-0.57	0.582	
CTR.PT	16.105	2.551	6.31	0.000	*

s = 4.137 R-sq = 96.5% R-sq(adj) = 90.8%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	16	4680.17	292.51	17.09	0.000
Error	10	171.14	17.11		
Total	26	4851.31			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	1234.10
I	1	1989.76
V	1	1.45
C	1	13.05
R*I	1	203.78
R*V	1	61.12
R*C	1	2.34
I*V	1	339.74
I*C	1	8.42
V*C	1	12.47
R*I*V	1	25.38
R*I*C	1	6.98
R*V*C	1	30.60
I*V*C	1	63.25
R*I*V*C	1	5.54
CTR.PT	1	682.20

Unusual Observations

Obs.	R	OMR.B	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
35	0.00	23.700	31.433	2.388	-7.733	-2.29R

R denotes an obs. with a large st. resid.

IPC-TR-583

OMEGAMETER 600R
BOARD TEST TOTAL

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	22.009	1.623	13.56	0.000	*
R	8.909	1.623	5.49	0.000	*
I	-13.759	1.623	-8.48	0.000	*
V	-0.616	1.623	-0.38	0.712	
C	-0.184	1.623	-0.11	0.912	
R*I	-3.184	1.623	-1.96	0.078	x
R*V	-1.241	1.623	-0.76	0.462	
R*C	-0.547	1.623	-0.34	0.743	
I*V	-3.359	1.623	-2.07	0.065	x
I*C	-0.016	1.623	-0.01	0.993	
V*C	0.778	1.623	0.48	0.642	
R*I*V	-1.209	1.623	-0.75	0.473	
R*I*C	-1.178	1.623	-0.73	0.485	
R*V*C	1.791	1.623	1.10	0.296	
I*V*C	-2.203	1.623	-1.36	0.205	
R*I*V*C	-0.691	1.623	-0.43	0.679	
CTR.PT	9.724	4.623	2.10	0.062	x

s = 7.497 R-sq = 92.9% R-sq(adj) = 81.4%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	16	7304.05	456.50	8.12	0.001
Error	10	562.05	56.21		
Total	26	7866.10			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	2386.02
I	1	3860.53
V	1	6.10
C	1	0.77
R*I	1	216.33
R*V	1	16.83
R*C	1	0.57
I*V	1	240.76
I*C	1	0.01
V*C	1	54.90
R*I*V	1	31.20
R*I*C	1	29.61
R*V*C	1	98.01
I*V*C	1	103.55
R*I*V*C	1	10.18
CTR.PT	1	248.69

Unusual Observations

Obs.	R	OMR.T	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
11	1.00	42.50	56.50	5.30	-14.00	-2.64R
28	1.00	70.50	56.50	5.30	14.00	2.64R

R denotes an obs. with a large st. resid.

IPC-TR-583

ALPHA METALS

OMEGAMETER 600SMD

Static
Heated
Spray below immersion

OMEGAMETER 600SMD
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
PWB/WEAK FLUX TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C D E	A AMOUNT OF RESIDUE (μGR/IN²)	B IPA (VOL%)	C SOLUTION TEMP. (ON/OFF)	D TEST CELL VOLUME (%FULL)	E CHANNEL DEPTH (MILS)	IONIC READING W/BLK WO/BLK	TEST DURATION W/BLK WO/BLK	TEST CELL TEMP. W/BLK WO/BLK
1	2	+ - - - -	55	70	OFF	33	3	26.8 8.3	15:00 15:00	96°F 96°F
2	1	- - - - +	5	70	OFF	33	9	11.8 10.2	15:00 15:00	96°F 97°F
3	9	- - - + -	5	70	OFF	100	3	0.0 3.3	15:00 15:00	95°F 96°F
4	10	+ - - + +	55	70	OFF	100	9	29.4 1.1	15:00 15:00	96°F 97°F
5	4	+ + - - +	55	80	OFF	33	9	15.4 5.0	15:00 15:00	95°F 96°F
6	3	- + - - -	5	80	OFF	33	3	3.6 5.2	15:00 15:00	96°F 96°F
7	11	- + - + +	5	80	OFF	100	9	2.1 0.0	15:00 15:00	98°F 98°F
8	12	+ + - + -	55	80	OFF	100	3	0.0 0.0	15:00 15:00	98°F 98°F
9	17	0 0 0 0 0	30	75	ON	66	6	17.5 2.2	15:00 15:00	111°F 113°F
10	19	0 0 0 0 0	30	75	ON	66	6	16.3 7.5	15:00 15:00	114°F 114°F
11	18	0 0 0 0 0	30	75	ON	66	6	20.5 4.4	15:00 15:00	115°F 115°F
12	6	+ - + - +	55	70	ON	33	9	31.8 8.4	15:00 15:00	108°F 115°F
13	14	+ - + + -	55	70	ON	100	3	39.3 0.0	15:00 15:00	113°F 112°F
14	5	- - + - -	5	70	ON	33	3	12.9 8.3	15:00 15:00	109°F 111°F
15	13	- - + + +	5	70	ON	100	9	11.8 1.0	15:00 15:00	110°F 114°F
16	8	+ + + - -	55	80	ON	33	3	26.1 5.0	15:00 15:00	110°F 111°F
17	15	- + + + -	5	80	ON	100	3	0.0 0.0	15:00 15:00	112°F 112°F
18	7	- + + - +	5	80	ON	33	9	8.5 2.3	15:00 15:00	114°F 115°F
19	16	+ + + + +	55	80	ON	100	9	14.8 0.0	15:00 15:00	116°F 116°F
20	2	+ - - - -	55	70	OFF	33	3	26.9 9.8	15:00 15:00	98°F 99°F
21	1	- - - - +	5	70	OFF	33	9	12.7 6.6	15:00 15:00	101°F 100°F
22	9	- - - + -	5	70	OFF	100	3	3.6 0.0	15:00 15:00	100°F 99°F
23	10	+ - - + +	55	70	OFF	100	9	22.5 1.5	15:00 15:00	98°F 98°F
24	4	+ + - - +	55	80	OFF	33	9	14.2 2.7	15:00 15:00	93°F 93°F
25	3	- + - - -	5	80	OFF	33	3	1.9 0.2	15:00 15:00	89°F 100°F
26	11	- + - + +	5	80	OFF	100	9	0.0 0.0	15:00 15:00	100°F 100°F
27	12	+ + - + -	55	80	OFF	100	3	8.5 0.0	15:00 15:00	100°F 100°F

TABLE OF EFFECTS (Board Tests with Blocks)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	32.59*	18.77*	27.21*	3.81*	15.33*	14.68*	10.73*	12.81*	9.29*
MAIN									
Residue (R)	50.88*	24.01*	37.81*	5.26*	12.28*	16.60*	10.19*	7.21*	11.83*
IPA (I)	-21.88*	-35.43*	-26.69*	-1.41	-20.51*	-11.30*		-4.39*	2.38
Volume (V)					-2.17	-4.63*	-0.93	3.18*	
Channel (C)	5.12	10.27*	0.12	1.11	1.89	0.88	0.05	-1.99	-1.05
Heat (H)						6.94*		2.12	
INTERACTION									
R*I	-17.27*	-22.08*	-20.52*	-1.96	-6.18*	-4.69*	-4.99*	-1.37	0.13
R*V					-3.92x	0.81	0.13	-0.49	
R*C	1.28	7.14	0.16	0.26	0.24	-3.16*	0.13	0.06	0.85
R*H						3.10*		1.86	
I*V					-7.98*	-3.39*	-0.48	1.54	
I*C	1.68	-8.29	-1.70	0.69	1.26	0.64	1.55	-0.89	-3.20
I*H						-0.30		2.88x	
V*C					0.29	1.19	-0.81	1.48	
V*H						1.28	0.13	-1.60	
C*H						-3.73*		-1.82	
R*I*V					-2.18		0.33		
R*I*C	3.83	-5.34	4.44	0.24	-1.14		0.34		0.10
R*V*C					1.92		0.56		
I*V*C					-3.44x		-0.74		
CENTER	53.68*	48.85*	6.48	2.36	16.11*	-0.05	10.00*	1.13	2.45

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA Interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

IPC-TR-583

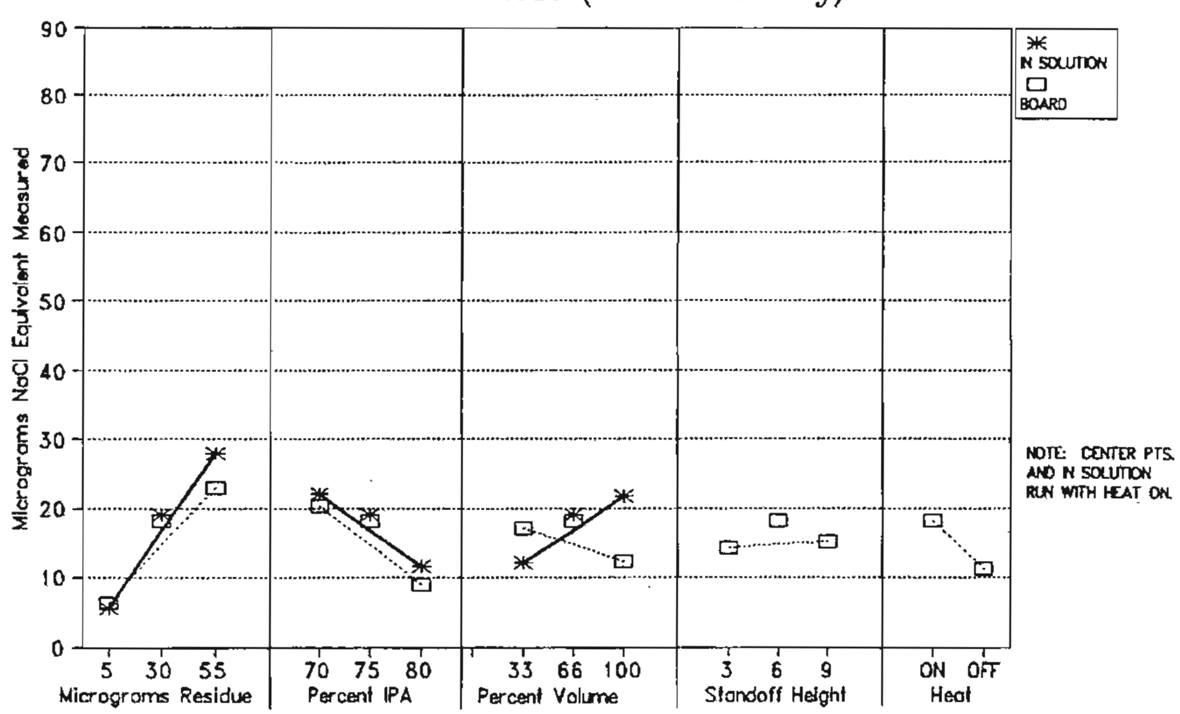
TABLE OF EFFECTS (Board Tests: Total)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	34.01*	32.66*	31.03*	5.68*	22.01*	17.93*	13.14*	18.27*	15.06*
MAIN									
Residue (R)	51.55*	42.86*	38.89*	6.59*	17.82*	17.01*	11.33*	7.33*	13.66*
IPA (I)	-23.88*	-42.32*	-31.83*	-0.61	-27.52*	-14.33*		-4.79*	6.29x
Volume (V)					-1.23	-10.13*	-2.23	3.88	
Channel (C)	2.88	-1.90	-2.79	0.49	-0.37	0.69	0.12	-1.00	-4.49
Heat (H)						6.69*		1.61	
INTERACTION									
R*I	-18.80*	-23.04*	-20.27*	-1.54	-6.37x	-4.13*	-5.68*	-2.46	-3.66
R*V					-2.48	0.07	-0.01	-0.35	
R*C	0.00	-3.50	-0.30	-0.44	-1.09	-3.11x	-0.81	-1.21	4.51
R*H						3.14x		2.72	
I*V					-6.72x	-1.34	0.98	1.78	
I*C	3.38	-6.65	0.06	0.26	-0.03	0.43	1.63	-0.58	-2.31
I*H						0.13		4.85	
V*C					1.56	1.53	-1.54	2.20	
V*H						1.03		-3.12	
C*H						-3.94*		-2.53	
R*I*V					-2.42		1.96		
R*I*C	4.77	-3.11	3.99	-0.31	-2.36		-0.24		6.09x
R*V*C					3.58		0.36		
I*V*C					-4.41		-0.11		
CENTER	53.69*	47.23*	5.84	1.79	9.72x	1.53	8.26*	0.15	1.48

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

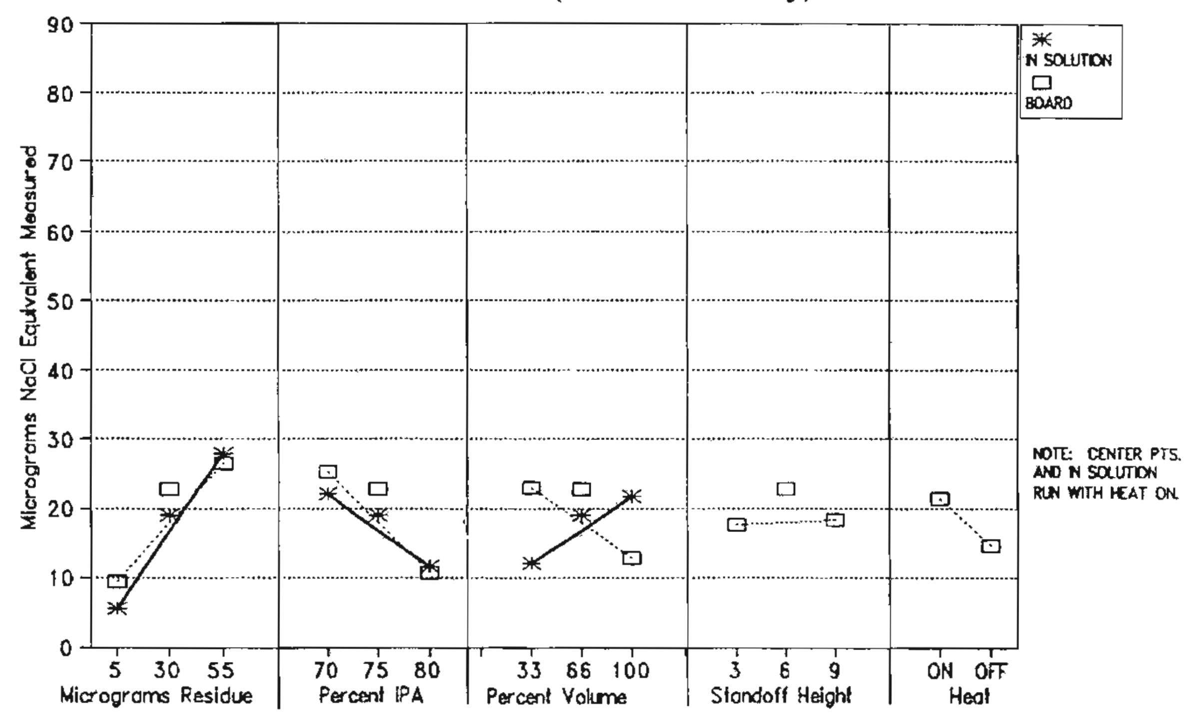
OMEGAMETER 600SMD : Board w/Block

MAIN EFFECTS (weak flux only)



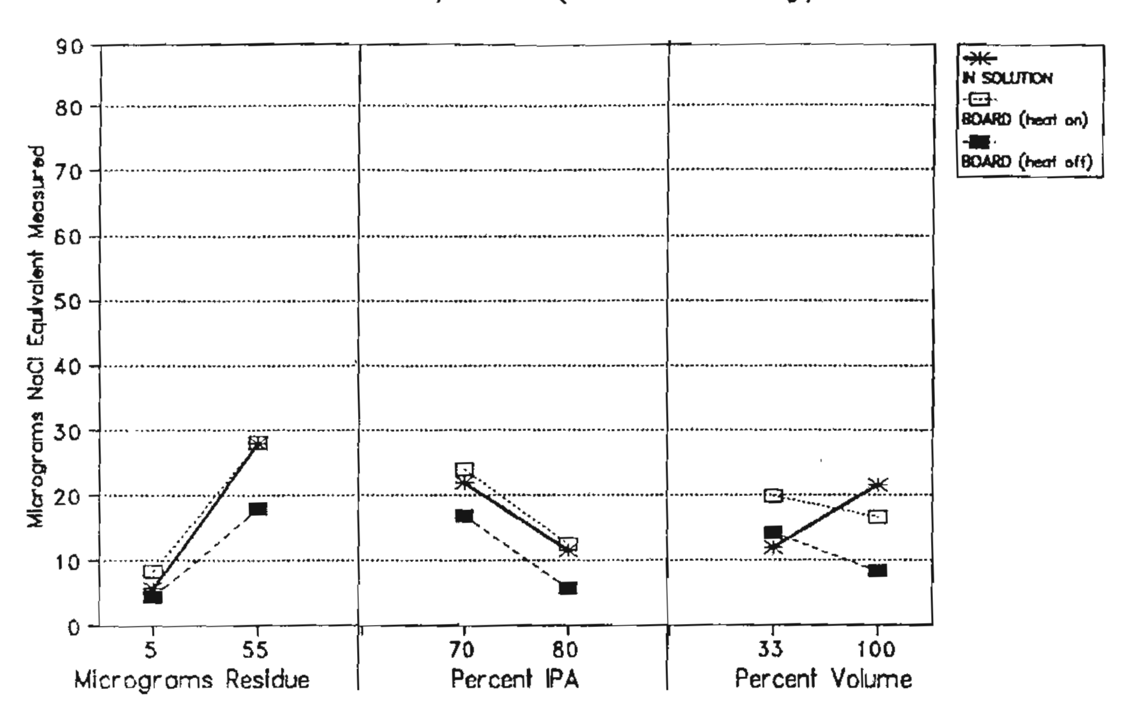
OMEGAMETER 600SMD : Block Total

MAIN EFFECTS (weak flux only)



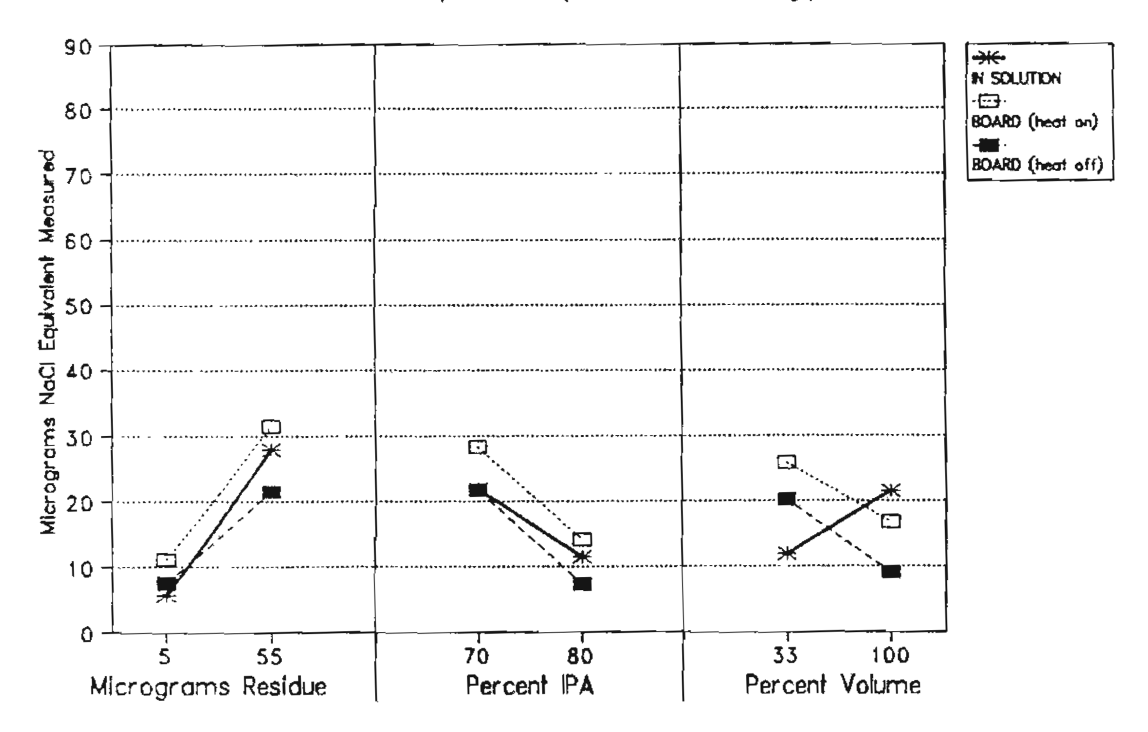
OMEGAMETER 600SMD : Board w/Block

2-WAY INT. w/HEAT (weak flux only)

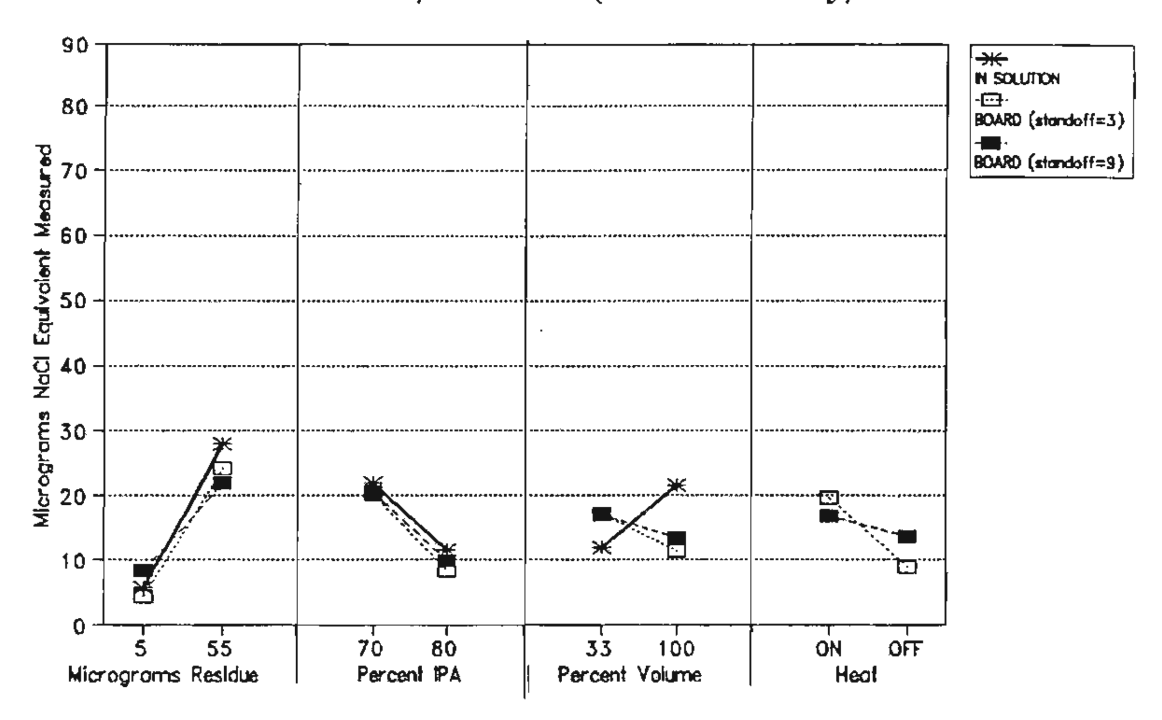


OMEGAMETER 600SMD : Board Total

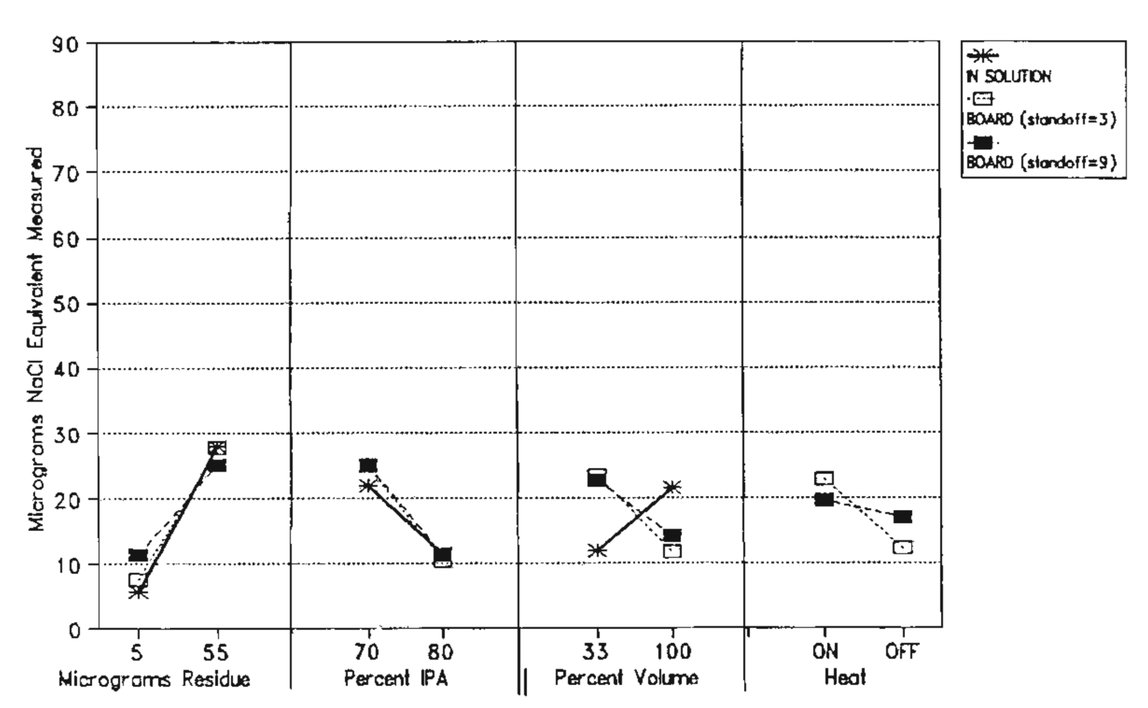
2-WAY INT. w/HEAT (weak flux only)



OMEGAMETER 600SMD : Board w/Block
2-WAY INT. w/Standoff (weak flux only)

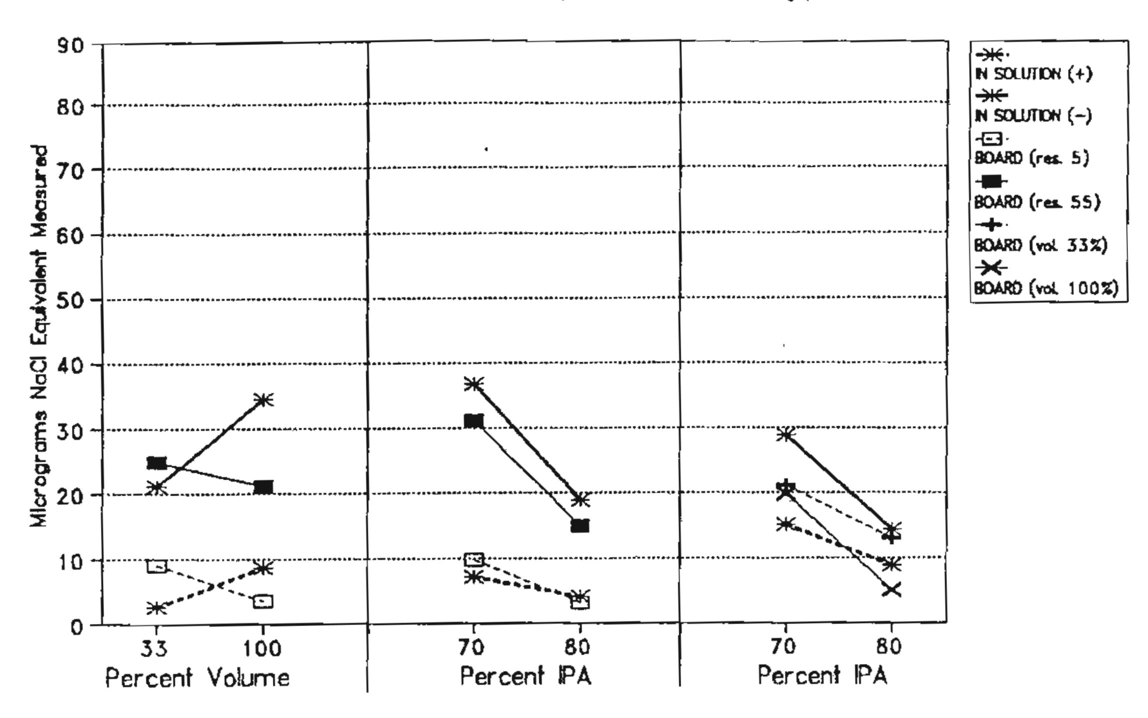


OMEGAMETER 600SMD : Board Total
2-WAY INT. w/ Standoff (weak flux only)



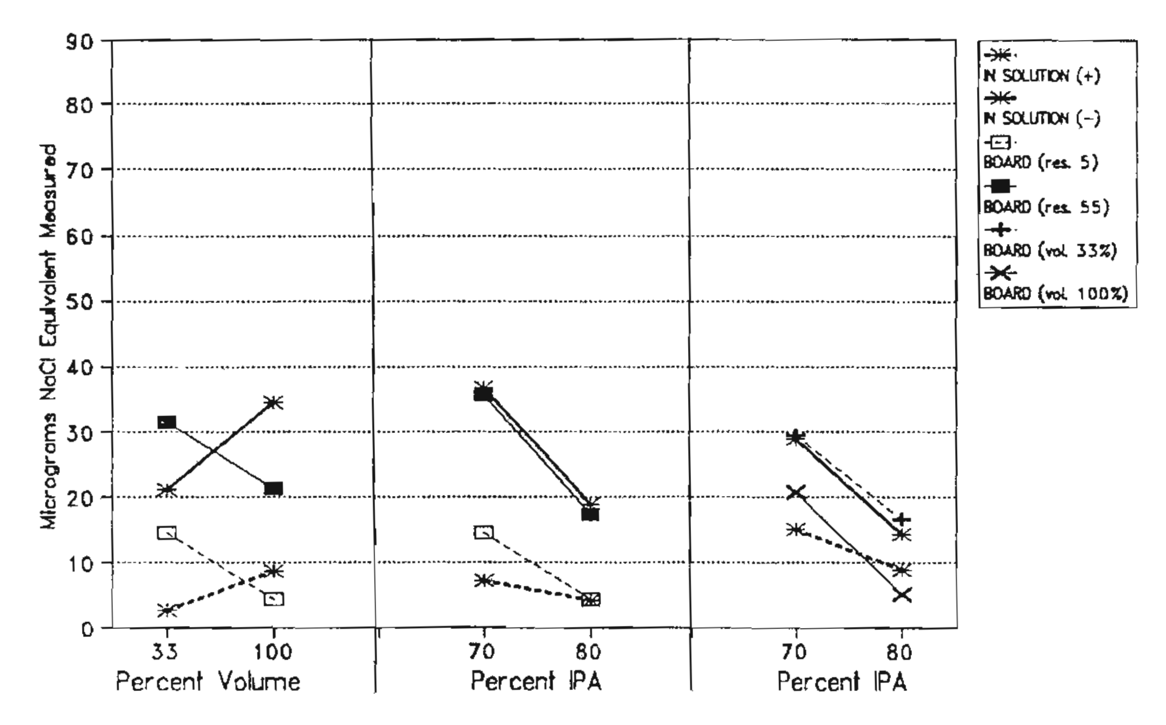
OMEGAMETER 600SMD : Board w/Block

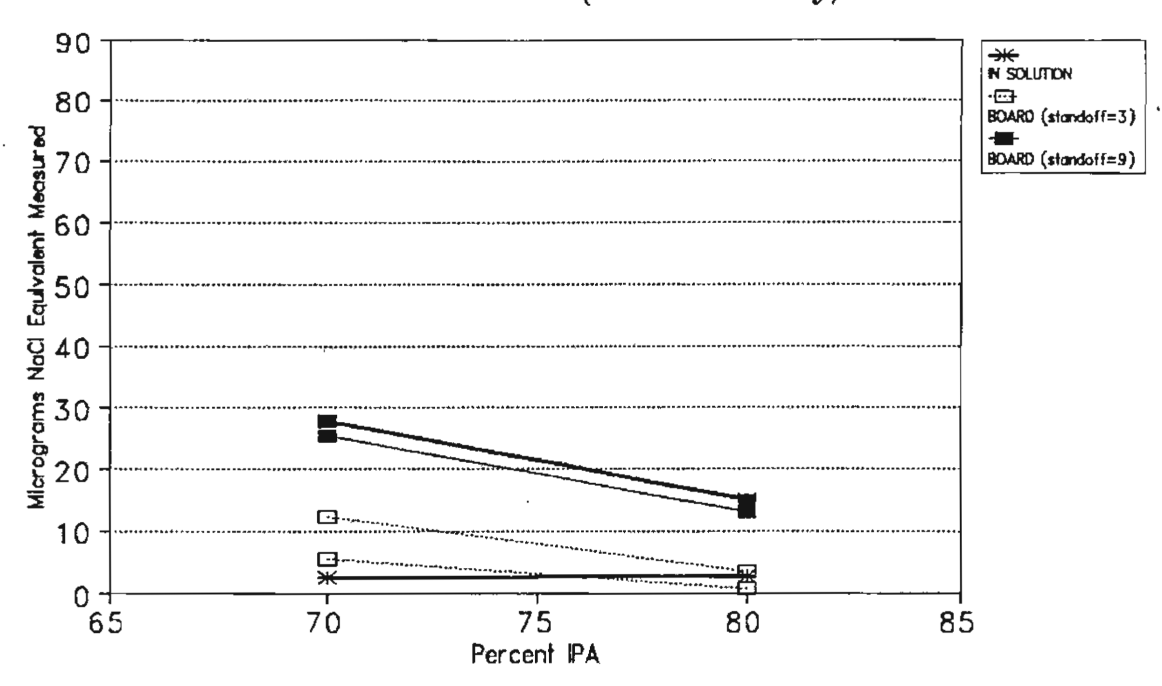
OTHER 2-WAY INT. (weak flux only)

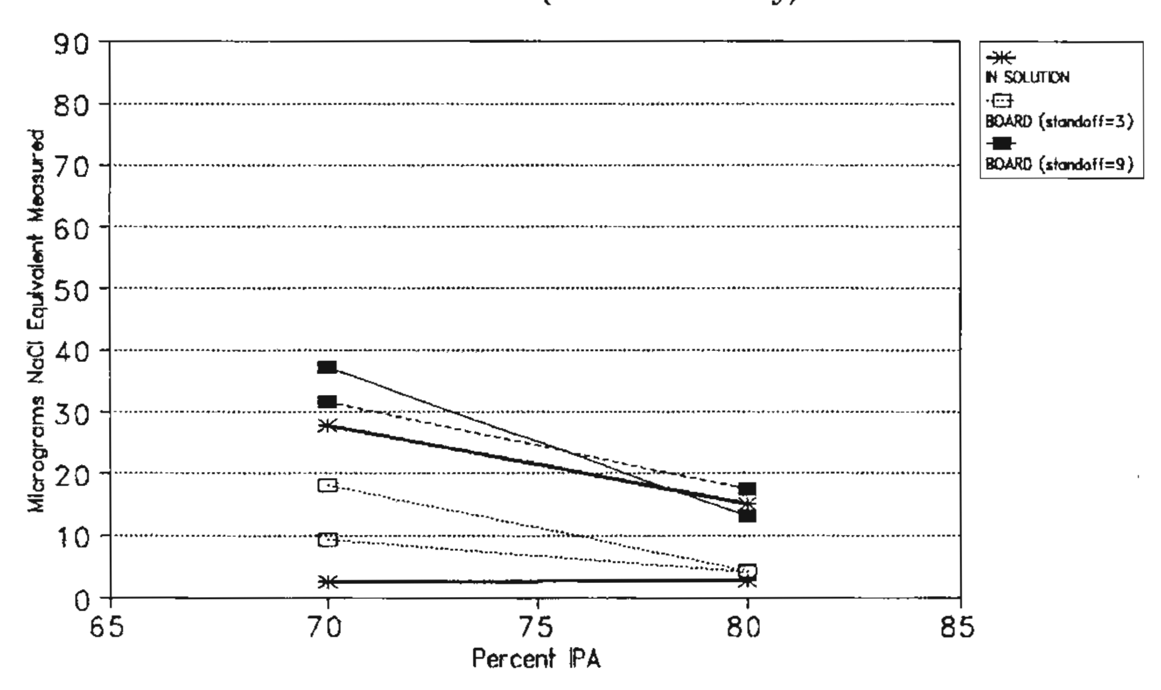


OMEGAMETER 600SMD : Board Total

OTHER 2-WAY INT. (weak flux only)




OMEGAMETER 600SMD : Board w/Block
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
65
70
75
80
85
Percent IPA
Micrograms NaCl Equivalent Measured
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


OMEGAMETER 600SMD : Board Total
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
65
70
75
80
85
Percent IPA
Micrograms NaCl Equivalent Measured
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)

OMEGAMETER 600SMD
IN SOLUTION TEST (weak flux)

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	16.769	0.9367	17.90	0.000	*
R	11.0688	0.9367	11.82	0.000	*
I	-5.1938	0.9367	-5.54	0.003	*
V	4.8063	0.9367	5.13	0.004	*
R*I	-3.7188	0.9367	-3.97	0.011	*
R*V	1.7563	0.9367	1.87	0.120	
I*V	-2.0563	0.9367	-2.20	0.080	x
R*I*V	-0.5313	0.9367	-0.57	0.595	
CTR.PT	2.381	2.357	1.01	0.359	

s = 3.059   R-sq = 98.2%   R-sq(adj) = 95.3%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	2543.64	317.95	33.97	0.001
Error	5	46.80	9.36		
Total	13	2590.44			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	1449.80
I	1	513.52
V	1	325.55
R*I	1	165.17
R*V	1	35.02
I*V	1	42.67
R*I*V	1	2.35
CTR.PT	1	9.55

Unusual Observations

Obs.	R	OMSMD.S	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
3	1.00	41.400	45.900	2.163	-4.500	-2.08R
20	1.00	50.400	45.900	2.163	4.500	2.08R

R denotes an obs. with a large st. resid.

OMEGAMETER 600SMD
BOARD TEST w/BLOCK

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	14.681	0.6145	23.89	0.000	*
R	8.3000	0.6145	13.51	0.000	*
I	-5.6500	0.6145	-9.19	0.000	*
V	-2.3125	0.6145	-3.76	0.004	*
C	0.4375	0.6145	0.71	0.493	
H	3.4687	0.6145	5.65	0.000	*
R*I	-2.3437	0.6145	-3.81	0.003	*
R*V	0.4062	0.6145	0.66	0.523	
R*C	-1.5813	0.6145	-2.57	0.028	*
R*H	1.5500	0.6145	2.52	0.030	*
I*V	-1.6938	0.6145	-2.76	0.020	*
I*C	0.3187	0.6145	0.52	0.615	
I*H	-0.1500	0.6145	-0.24	0.812	
V*C	0.5938	0.6145	0.97	0.357	
V*H	0.6375	0.6145	1.04	0.324	
C*H	-1.8625	0.6145	-3.03	0.013	*
CTR.PT	-0.050	1.921	-0.03	0.980	

s = 2.838 R-sq = 97.5% R-sq(adj) = 93.4%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	16	3086.27	192.89	23.95	0.000
Error	10	80.55	8.05		
Total	26	3166.82			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	1453.93
I	1	752.64
V	1	153.01
C	1	26.88
H	1	312.50
R*I	1	155.04
R*V	1	2.16
R*C	1	24.81
R*H	1	51.25
I*V	1	61.20
I*C	1	2.17
I*H	1	0.48
V*C	1	7.52
V*H	1	8.67
C*H	1	74.00
CTR.PT	1	0.01

Unusual Observations

Obs.	R	OMSMD.B	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
7	1.00	0.000	4.250	2.007	-4.250	-2.12R
24	1.00	8.500	4.250	2.007	4.250	2.12R

R denotes an obs. with a large st. resid.

OMEGAMETER 600SMD
BOARD TEST TOTAL

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	17.928	0.7116	25.19	0.000	*
R	8.5031	0.7116	11.95	0.000	*
I	-7.1656	0.7116	-10.07	0.000	*
V	-5.0656	0.7116	-7.12	0.000	*
C	0.3469	0.7116	0.49	0.636	
H	3.3469	0.7116	4.70	0.000	*
R*I	-2.0656	0.7116	-2.90	0.016	*
R*V	0.0344	0.7116	0.05	0.962	
R*C	-1.5531	0.7116	-2.18	0.054	x
R*H	1.5719	0.7116	2.21	0.052	x
I*V	-0.6719	0.7116	-0.94	0.367	
I*C	0.2156	0.7116	0.30	0.768	
I*H	0.0656	0.7116	0.09	0.928	
V*C	0.7656	0.7116	1.08	0.307	
V*H	0.5156	0.7116	0.72	0.485	
C*H	-1.9719	0.7116	-2.77	0.020	*
CTR.PT	1.525	2.225	0.69	0.509	

s = 3.287 R-sq = 97.4% R-sq(adj) = 93.4%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	16	4121.23	257.58	23.85	0.000
Error	10	108.01	10.80		
Total	26	4229.25			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	1528.01
I	1	1239.84
V	1	658.35
C	1	24.20
H	1	329.49
R*I	1	129.27
R*V	1	0.03
R*C	1	42.40
R*H	1	52.71
I*V	1	9.63
I*C	1	0.99
I*H	1	0.09
V*C	1	12.51
V*H	1	5.67
C*H	1	82.95
CTR.PT	1	5.07

IPC-TR-583

KESTER

IONEX 2000 (series 100)

Static
Unheated
Spray above immersion

IONEX 2000/100
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
PWB/WEAK FLUX TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C D	A AMOUNT OF RESIDUE (µGR/IN²)	B IPA (VOL%)	D TEST CELL VOLUME (%FULL)	E CHANNEL DEPTH (MILS)	IONIC READING W/BLK	IONIC READING WO/BLK	TEST DURATION W/BLK	TEST DURATION WO/BLK	TEST CELL TEMP. W/BLK	TEST CELL TEMP. WO/BLK
1	5	- - + -	5	70	33	9	11.0	3.7	15:00	15:00	100°F	104°F
2	14	+ - + +	55	70	100	9	22.0	3.2	15:00	15:00	103°F	105°F
3	6	+ - + -	55	70	33	9	24.3	9.5	15:00	15:00	107°F	106°F
4	10	+ - - +	55	70	100	3	24.5	1.8	15:00	15:00	105°F	106°F
5	13	- - + +	5	70	100	9	5.8	1.9	15:00	15:00	93°F	101°F
6	1	- - - -	5	70	33	3	6.4	3.4	15:00	15:00	106°F	106°F
7	2	+ - - -	55	70	33	3	25.8	11.8	15:00	15:00	104°F	105°F
8	9	- - - +	5	70	100	3	7.6	2.7	15:00	15:00	104°F	105°F
9	17	0 0 0 0	30	75	66	6	20.0	2.0	15:00	15:00	100°F	104°F
10	18	0 0 0 0	30	75	66	6	18.8	0.0	15:00	15:00	105°F	105°F
11	19	0 0 0 0	30	75	66	6	23.4	0.2	15:00	15:00	105°F	106°F
12	4	+ + - -	55	80	33	3	6.7	0.4	15:00	15:00	99°F	103°F
13	11	- + - +	5	80	100	3	0.8	0.0	15:00	15:00	103°F	104°F
14	8	+ + + -	55	80	33	9	9.4	0.3	15:00	15:00	105°F	106°F
15	15	- + + +	5	80	100	9	2.1	0.1	15:00	15:00	100°F	104°F
16	3	- + - -	5	80	33	3	2.6	0.0	15:00	15:00	105°F	106°F
17	16	+ + + +	55	80	100	9	7.6	0.9	15:00	15:00	103°F	105°F
18	7	- + + -	5	80	33	9	3.6	3.2	15:00	15:00	100°F	103°F
19	12	+ + - +	55	80	100	3	6.2	3.5	15:00	15:00	103°F	105°F
20	5	- - + -	5	70	33	9	8.6	3.1	15:00	15:00	106°F	106°F
21	14	+ - + +	55	70	100	9	23.9	0.9	15:00	15:00	103°F	105°F
22	6	+ - + -	55	70	33	9	23.1	4.4	15:00	15:00	105°F	106°F
23	10	+ - - +	55	70	100	3	25.4	3.4	15:00	15:00	104°F	105°F
24	13	- - + +	5	70	100	9	8.0	3.4	15:00	15:00	101°F	104°F
25	1	- - - -	5	70	33	3	10.9	2.8	15:00	15:00	105°F	106°F
26	2	+ - - -	55	70	33	3	24.4	2.5	15:00	15:00	102°F	105°F
27	9	- - - +	5	70	100	3	13.7	1.8	15:00	15:00	103°F	105°F

TABLE OF EFFECTS (Board Tests with Blocks)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	32.59*	18.77*	27.21*	3.81*	15.33*	14.68*	10.73*	12.81*	9.29*
MAIN									
Residue (R)	50.88*	24.01*	37.81*	5.26*	12.28*	16.60*	10.19*	7.21*	11.83*
IPA (I)	-21.88*	-35.43*	-26.69*	-1.41	-20.51*	-11.30*		-4.39*	2.38
Volume (V)					-2.17	-4.63*	-0.93	3.18*	
Channel (C)	5.12	10.27*	0.12	1.11	1.89	0.88	0.05	-1.99	-1.05
Heat (H)						6.94*		2.12	
INTERACTION									
R*I	-17.27*	-22.08*	-20.52*	-1.96	-6.18*	-4.69*	-4.99*	-1.37	0.13
R*V					-3.92x	0.81	0.13	-0.49	
R*C	1.28	7.14	0.16	0.26	0.24	-3.16*	0.13	0.06	0.85
R*H						3.10*		1.86	
I*V					-7.98*	-3.39*	-0.48	1.54	
I*C	1.68	-8.29	-1.70	0.69	1.26	0.64	1.55	-0.89	-3.20
I*H						-0.30		2.88x	
V*C					0.29	1.19	-0.81	1.48	
V*H						1.28	0.13	-1.60	
C*H						-3.73*		-1.82	
R*I*V					-2.18		0.33		
R*I*C	3.83	-5.34	4.44	0.24	-1.14		0.34		0.10
R*V*C					1.92		0.56		
I*V*C					-3.44x		-0.74		
CENTER	53.68*	48.85*	6.48	2.36	16.11*	-0.05	10.00*	1.13	2.45

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

IPC-TR-583

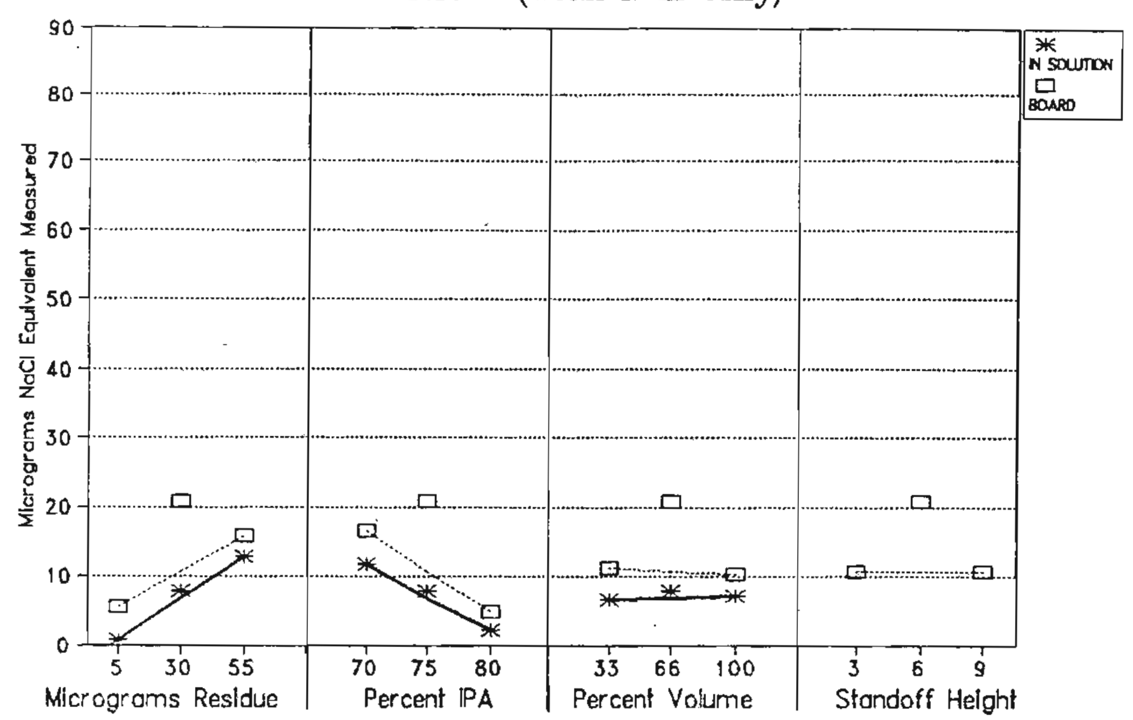
TABLE OF EFFECTS (Board Tests: Total)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	34.01*	32.66*	31.03*	5.68*	22.01*	17.93*	13.14*	18.27*	15.06*
MAIN									
Residue (R)	51.55*	42.86*	38.89*	6.59*	17.82*	17.01*	11.33*	7.33*	13.66*
IPA (I)	-23.88*	-42.32*	-31.83*	-0.61	-27.52*	-14.33*		-4.79*	6.29x
Volume (V)					-1.23	-10.13*	-2.23	3.88	
Channel (C)	2.88	-1.90	-2.79	0.49	-0.37	0.69	0.12	-1.00	-4.49
Heat (H)						6.69*		1.61	
INTERACTION									
R*I	-18.80*	-23.04*	-20.27*	-1.54	-6.37x	-4.13*	-5.68*	-2.46	-3.66
R*V					-2.48	0.07	-0.01	-0.35	
R*C	0.00	-3.50	-0.30	-0.44	-1.09	-3.11x	-0.81	-1.21	4.51
R*H						3.14x		2.72	
I*V					-6.72x	-1.34	0.98	1.78	
I*C	3.38	-6.65	0.06	0.26	-0.03	0.43	1.63	-0.58	-2.31
I*H						0.13		4.85	
V*C					1.56	1.53	-1.54	2.20	
V*H						1.03		-3.12	
C*H						-3.94*		-2.53	
R*I*V					-2.42		1.96		
R*I*C	4.77	-3.11	3.99	-0.31	-2.36		-0.24		6.09x
R*V*C					3.58		0.36		
I*V*C					-4.41		-0.11		
CENTER	53.69*	47.23*	5.84	1.79	9.72x	1.53	8.26*	0.15	1.48

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

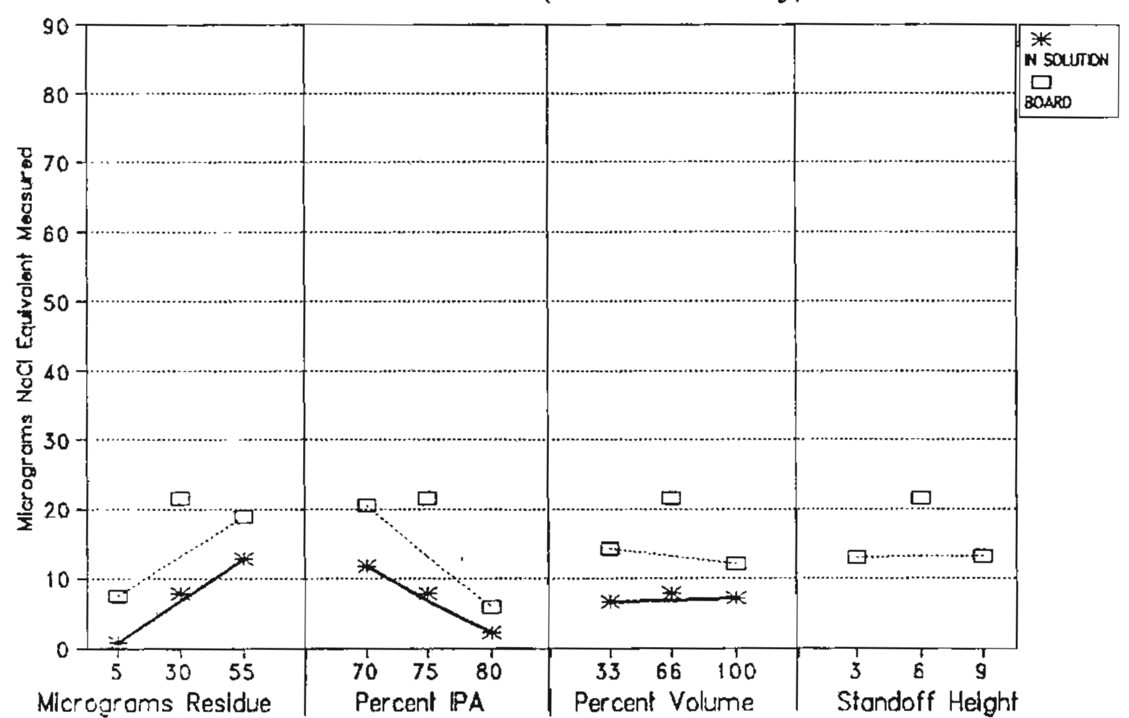
IONEX 2000 : Board w/Block

MAIN EFFECTS (weak flux only)



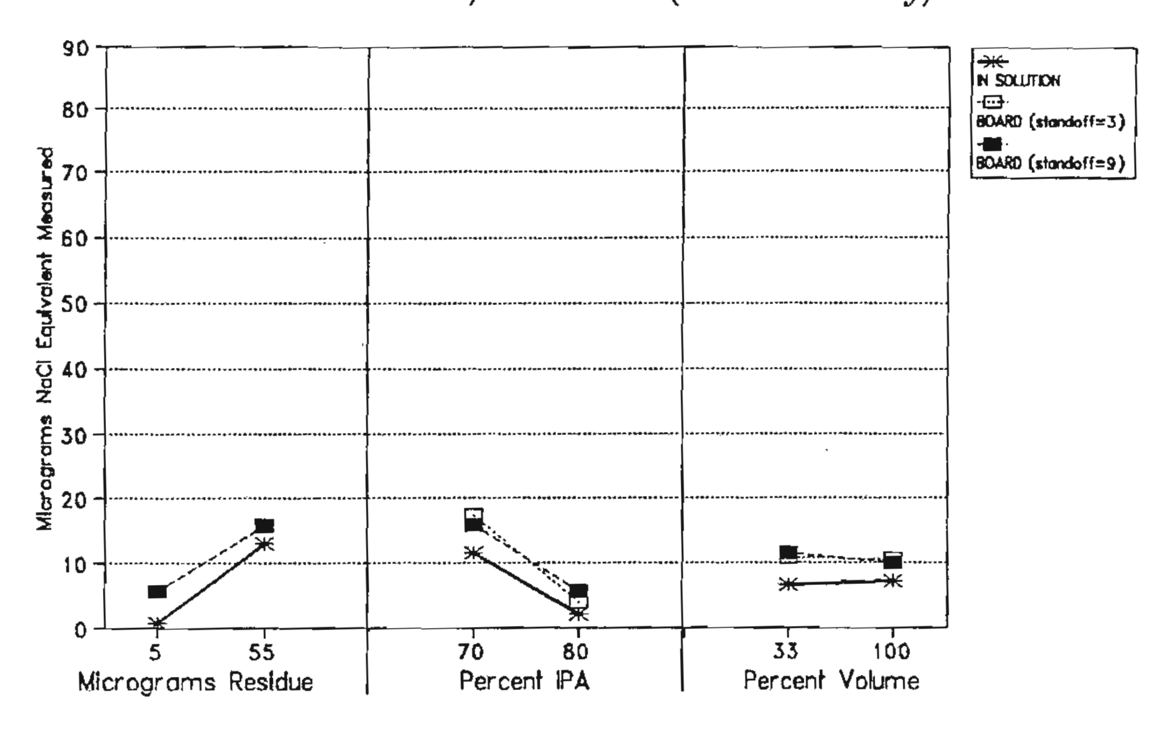
IONEX 2000 : Board Total

MAIN EFFECTS (weak flux only)



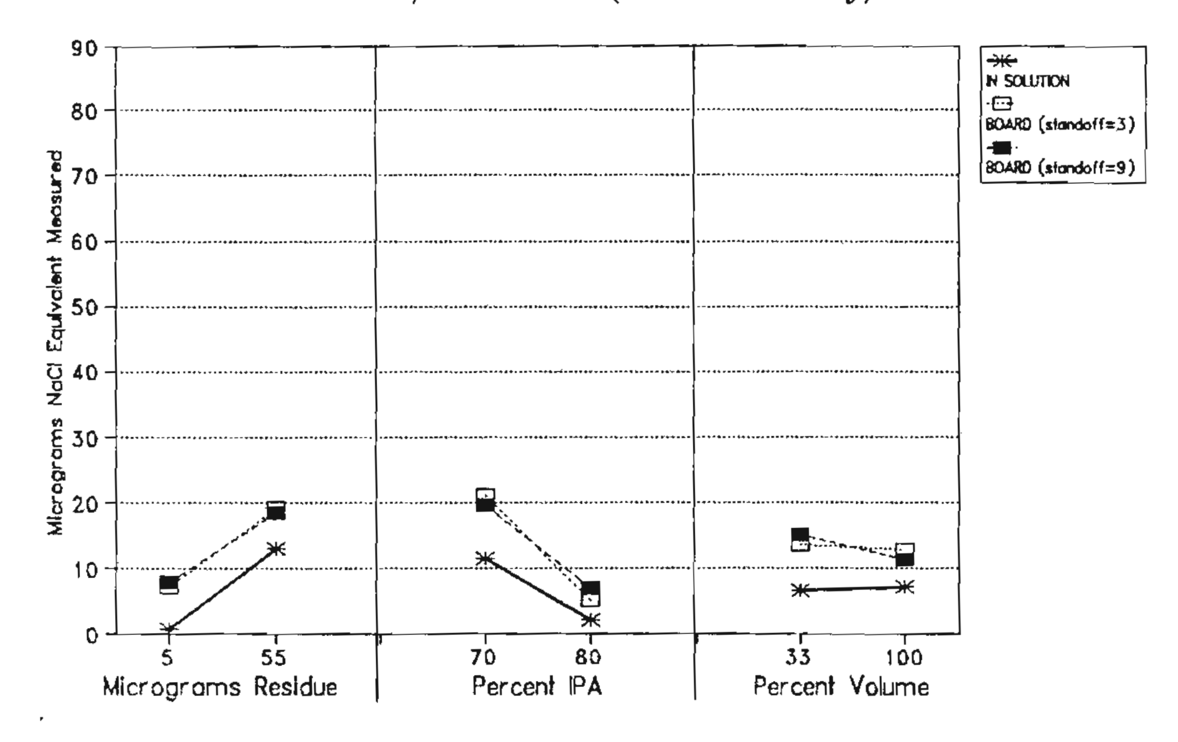
IONEX 2000 : Board w/Block

2-WAY INT. w/STANDOFF (weak flux only)

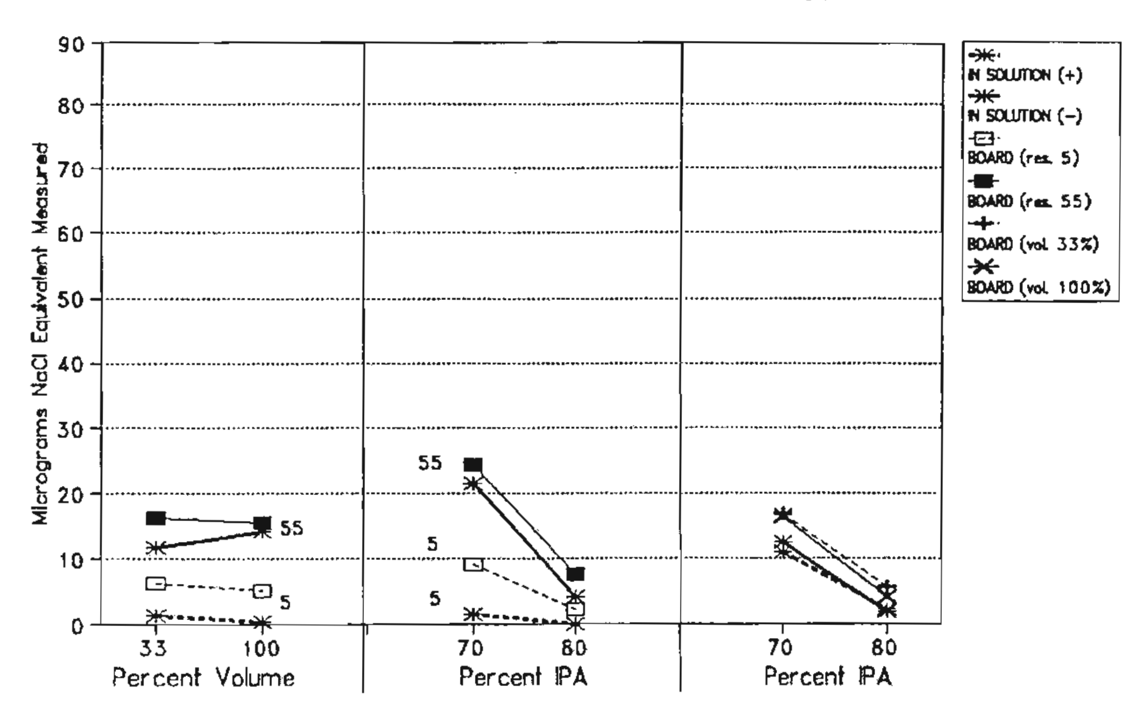


IONEX 2000 : Board Total

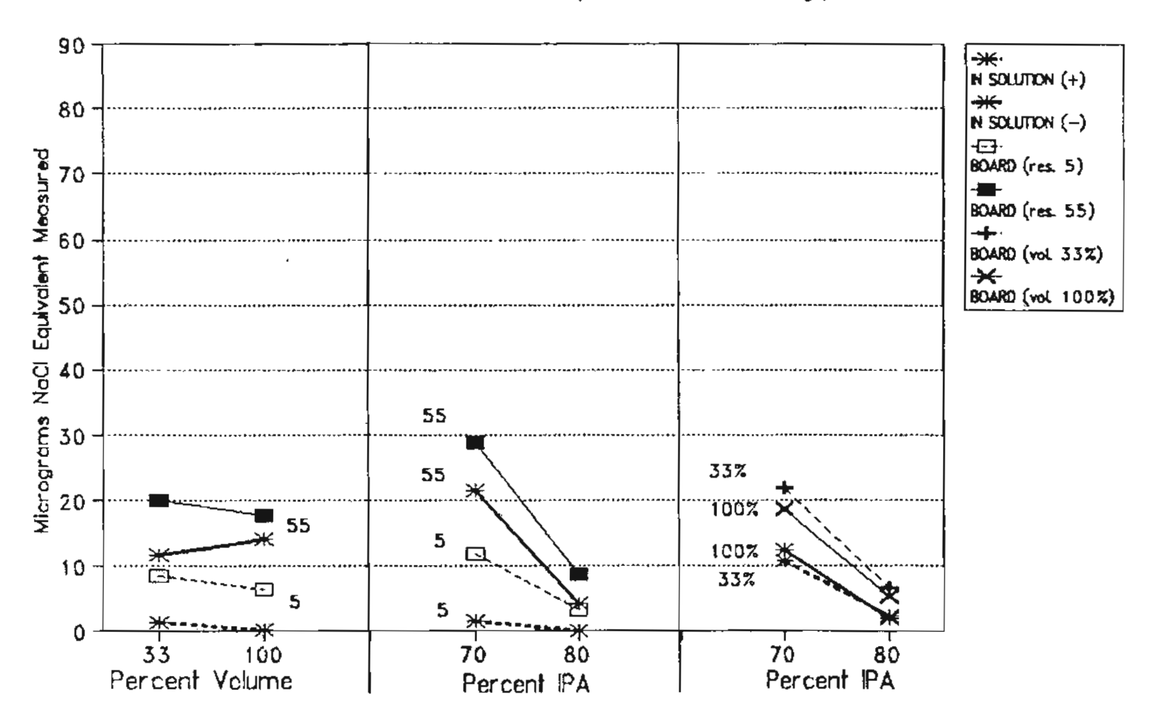
2-WAY INT. w/STANDOFF (weak flux only)

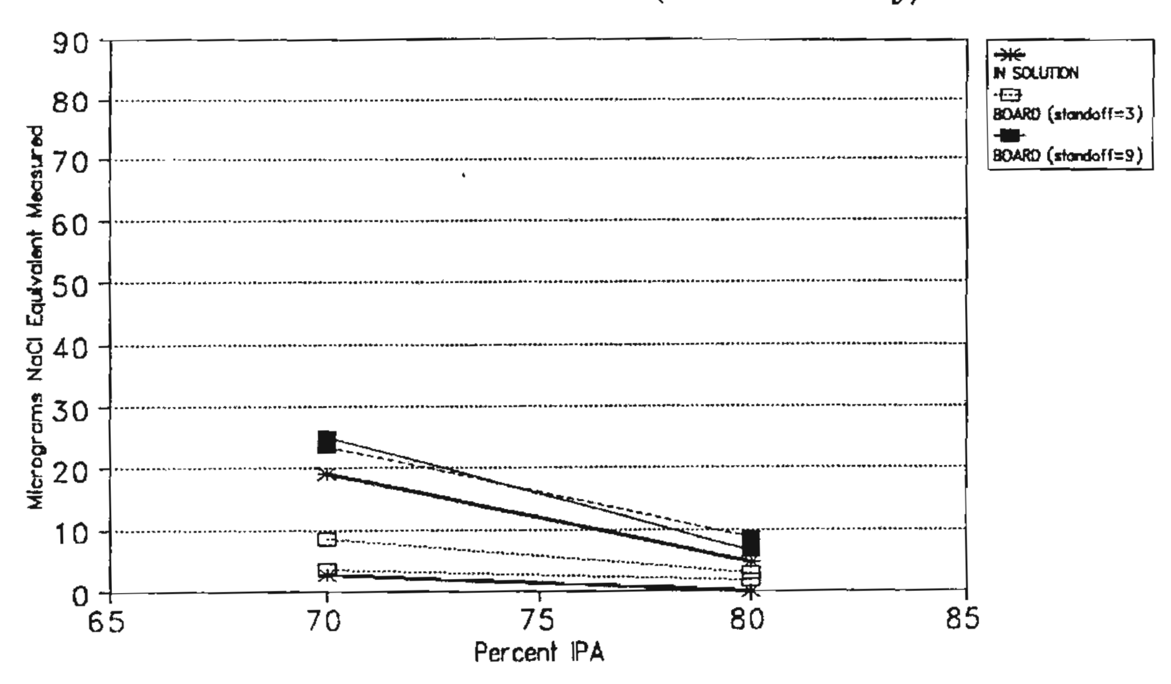


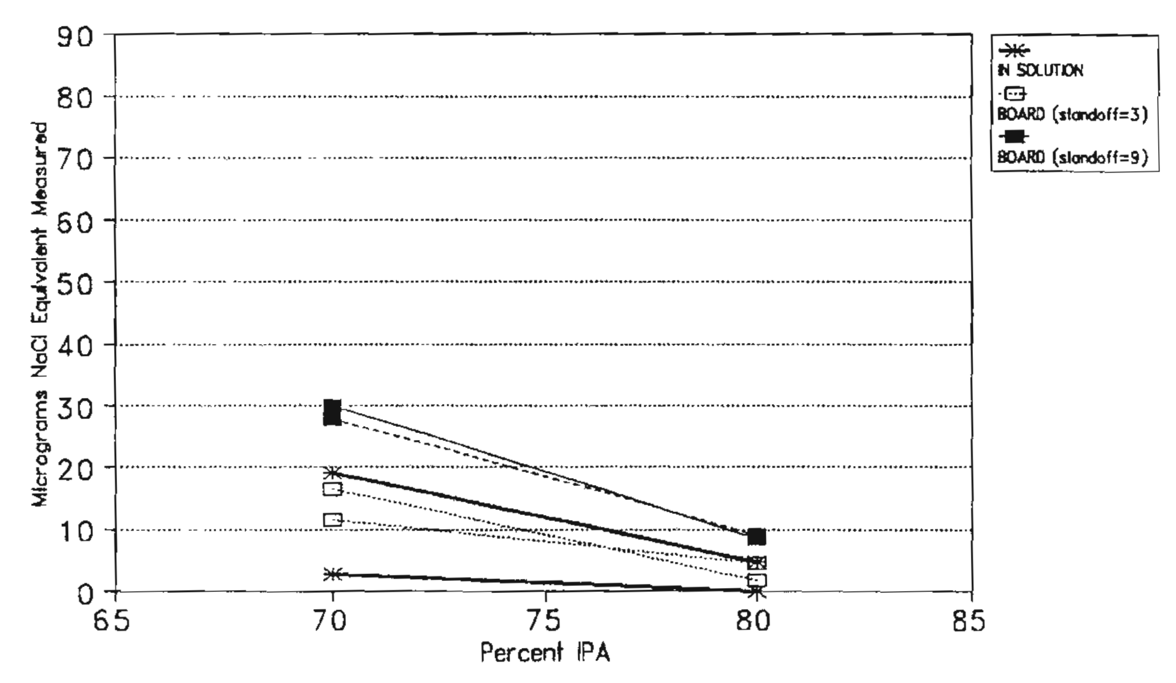
IONEX 2000 : Board w/Block
OTHER 2-WAY INT. (weak flux only)



IONEX 2000 : Board Total
OTHER 2-WAY INT. (weak flux only)




IONEX 2000 : Board w/Block
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
65
70
75
80
85
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


IONEX 2000 : Board Total
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
65
70
75
80
85
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)

IONEX 2000
IN SOLUTION TEST (weak flux)

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	6.8690	0.4238	16.21	0.000	*
R	6.0812	0.4238	14.35	0.000	*
I	-4.7438	0.4238	-11.19	0.000	*
V	0.2937	0.4238	0.69	0.519	
R*I	-3.9562	0.4238	-9.33	0.000	*
R*V	0.8812	0.4238	2.08	0.092	x
I*V	-0.4687	0.4238	-1.11	0.319	
R*I*V	-1.0562	0.4238	-2.49	0.055	x
CTR.PT	0.881	1.067	0.83	0.446	

s = 1.384   R-sq = 99.1%   R-sq(adj) = 97.8%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	1099.88	137.48	71.76	0.000
Error	5	9.58	1.92		
Total	13	1109.45			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	657.12
I	1	239.57
V	1	2.43
R*I	1	166.95
R*V	1	18.25
I*V	1	2.34
R*I*V	1	11.90
CTR.PT	1	1.31

Unusual Observations

Obs.	R	IONX.S	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
3	1.00	22.300	24.350	0.979	-2.050	-2.09R
20	1.00	26.400	24.350	0.979	2.050	2.09R

R denotes an obs. with a large st. resid.

IONEX 2000
BOARD TEST w/BLOCK

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	10.731	0.4809	22.31	0.000	*
R	5.0938	0.4809	10.59	0.000	*
I	-5.8562	0.4809	-12.18	0.000	*
V	-0.4625	0.4809	-0.96	0.359	
C	0.0250	0.4809	0.05	0.960	
R*I	-2.4937	0.4809	-5.19	0.000	*
R*V	0.0625	0.4809	0.13	0.899	
R*C	0.0625	0.4809	0.13	0.899	
I*V	-0.2375	0.4809	-0.49	0.632	
I*C	0.7750	0.4809	1.61	0.138	
V*C	-0.4063	0.4809	-0.84	0.418	
R*I*V	0.0625	0.4809	0.13	0.899	
R*I*C	0.1625	0.4809	0.34	0.742	
R*V*C	0.1688	0.4809	0.35	0.733	
I*V*C	0.2813	0.4809	0.58	0.572	
R*I*V*C	-0.3687	0.4809	-0.77	0.461	
CTR.PT	10.002	1.369	7.30	0.000	*

s = 2.221 R-sq = 97.5% R-sq(adj) = 93.5%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	16	1911.82	119.49	24.22	0.000
Error	10	49.33	4.93		
Total	26	1961.15			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	842.53
I	1	641.32
V	1	3.53
C	1	1.31
R*I	1	132.67
R*V	1	0.04
R*C	1	0.00
I*V	1	1.20
I*C	1	12.81
V*C	1	6.00
R*I*V	1	0.08
R*I*C	1	0.56
R*V*C	1	2.04
I*V*C	1	1.69
R*I*V*C	1	2.90
CTR.PT	1	263.12

IONEX 2000
BOARD TEST TOTAL

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	13.141	0.7620	17.25	0.000	*
R	5.6656	0.7620	7.43	0.000	*
I	-7.2156	0.7620	-9.47	0.000	*
V	-1.1156	0.7620	-1.46	0.174	
C	0.0594	0.7620	0.08	0.939	
R*I	-2.8406	0.7620	-3.73	0.004	*
R*V	-0.0031	0.7620	-0.00	0.997	
R*C	-0.4031	0.7620	-0.53	0.608	
I*V	0.4906	0.7620	0.64	0.534	
I*C	0.8156	0.7620	1.07	0.310	
V*C	-0.7719	0.7620	-1.01	0.335	
R*I*V	0.9781	0.7620	1.28	0.228	
R*I*C	-0.1219	0.7620	-0.16	0.876	
R*V*C	0.1781	0.7620	0.23	0.820	
I*V*C	-0.0531	0.7620	-0.07	0.946	
R*I*V*C	-0.3031	0.7620	-0.40	0.699	
CTR.PT	8.259	2.170	3.81	0.003	*

s = 3.520   R-sq = 95.3%   R-sq(adj) = 87.9%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	16	2527.36	157.96	12.75	0.000
Error	10	123.88	12.39		
Total	26	2651.25			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	1049.40
I	1	1022.69
V	1	39.27
C	1	1.08
R*I	1	172.14
R*V	1	2.60
R*C	1	3.15
I*V	1	5.14
I*C	1	14.19
V*C	1	13.65
R*I*V	1	20.41
R*I*C	1	0.32
R*V*C	1	1.87
I*V*C	1	0.06
R*I*V*C	1	1.96
CTR.PT	1	179.42

Unusual Observations

Obs.	R	IONX.T	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
1	1.00	37.600	32.250	2.489	5.350	2.15R
18	1.00	26.900	32.250	2.489	-5.350	-2.15R

R denotes an obs. with a large st. resid.

IPC-TR-583

WESTEK

ICOM 5000

Static
Heated or Unheated
Spray above immersion

ICOM 5000 RGS
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
PWB/WEAK FLUX TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C D E	A AMOUNT OF RESIDUE (µGR/IN²)	B IPA (VOL%)	C SOLUTION TEMP. (ON/OFF)	D TEST CELL VOLUME (ML/SQ IN.)	E CHANNEL DEPTH (MILS)	IONIC READING W/BLK	IONIC READING WO/BLK	TEST DURATION W/BLK	TEST DURATION WO/BLK	TEST CELL TEMP. W/BLK	TEST CELL TEMP. WO/BLK
1	2	+ - - - -	55	70	OFF	160	3	15.82	3.62	15:00	15:00	83°F	84°F
2	1	- - - - +	5	70	OFF	160	9	8.12	5.08	15:00	15:00	87°F	88°F
3	10	+ - - + +	55	70	OFF	320	9	18.33	5.96	15:00	15:00	85°F	85°F
4	9	- - - + -	5	70	OFF	320	3	9.33	5.00	15:00	15:00	75°F	79°F
5	12	+ + - + -	55	80	OFF	320	3	10.51	1.99	15:00	15:00	80°F	82°F
6	11	- + - + +	5	80	OFF	320	9	6.02	1.88	15:00	15:00	84°F	85°F
7	3	- + - - -	5	80	OFF	160	3	3.82	1.97	15:00	15:00	87°F	88°F
8	4	+ + - - +	55	80	OFF	160	9	3.77	2.30	15:00	15:00	89°F	91°F
9	18	0 0 0 0 0	30	75	ON	160	6	14.16	3.36	15:00	15:00	107°F	108°F
10	17	0 0 0 0 0	30	75	ON	160	6	13.69	4.21	15:00	15:00	108°F	108°F
11	19	0 0 0 0 0	30	75	ON	160	6	17.15	5.08	15:00	15:00	109°F	109°F
12	6	+ - + - +	55	70	ON	160	9	17.90	4.91	15:00	15:00	107°F	107°F
13	5	- - + - -	5	70	ON	160	3	11.37	3.72	15:00	15:00	107°F	108°F
14	14	+ - + + -	55	70	ON	320	3	20.3	5.29	15:00	15:00	108°F	108°F
15	13	- - + + +	5	70	ON	320	9	8.92	3.76	15:00	15:00	108°F	108°F
16	8	+ + + - -	55	80	ON	160	3	18.71	6.85	15:00	15:00	107°F	108°F
17	16	+ + + + +	55	80	ON	320	9	16.70	5.72	15:00	15:00	110°F	108°F
18	7	- + + - +	5	80	ON	160	9	4.34	6.97	15:00	15:00	110°F	110°F
19	15	- + + + -	5	80	ON	320	3	12.70	4.40	15:00	15:00	110°F	110°F
20	2	+ - - - -	55	70	OFF	160	3	19.60	9.05	15:00	15:00	86.8°F	86.4°F
21	1	- - - - +	5	70	OFF	160	9	11.37	8.47	15:00	15:00	78.6°F	78.6°F
22	10	+ - - + +	55	70	OFF	320	9	24.16	11.15	15:00	15:00	83°F	83.8°F
23	9	- - - + -	5	70	OFF	320	3	16.34	6.88	15:00	15:00	87°F	87.4°F
24	12	+ + - + -	55	80	OFF	320	3	15.02	6.42	15:00	15:00	84.4°F	84.2°F
25	11	- + - + +	5	80	OFF	320	9	13.39	15.33	15:00	15:00	87°F	86.4°F
26	3	- + - - -	5	80	OFF	160	3	4.21	4.03	15:00	15:00	74.6°F	79.6°F
27	4	+ + - - +	55	80	OFF	160	9	8.12	2.36	15:00	15:00	79.0°F	79.4°F

TABLE OF EFFECTS (Board Tests with Blocks)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	32.59*	18.77*	27.21*	3.81*	15.33*	14.68*	10.73*	12.81*	9.29*
MAIN									
Residue (R)	50.88*	24.01*	37.81*	5.26*	12.28*	16.60*	10.19*	7.21*	11.83*
IPA (I)	-21.88*	-35.43*	-26.69*	-1.41	-20.51*	-11.30*		-4.39*	2.38
Volume (V)					-2.17	-4.63*	-0.93	3.18*	
Channel (C)	5.12	10.27*	0.12	1.11	1.89	0.88	0.05	-1.99	-1.05
Heat (H)						6.94*		2.12	
INTERACTION									
R*I	-17.27*	-22.08*	-20.52*	-1.96	-6.18*	-4.69*	-4.99*	-1.37	0.13
R*V					-3.92x	0.81	0.13	-0.49	
R*C	1.28	7.14	0.16	0.26	0.24	-3.16*	0.13	0.06	0.85
R*H						3.10*		1.86	
I*V					-7.98*	-3.39*	-0.48	1.54	
I*C	1.68	-8.29	-1.70	0.69	1.26	0.64	1.55	-0.89	-3.20
I*H						-0.30		2.88x	
V*C					0.29	1.19	-0.81	1.48	
V*H						1.28	0.13	-1.60	
C*H						-3.73*		-1.82	
R*I*V					-2.18		0.33		
R*I*C	3.83	-5.34	4.44	0.24	-1.14		0.34		0.10
R*V*C					1.92		0.56		
I*V*C					-3.44x		-0.74		
CENTER	53.68*	48.85*	6.48	2.36	16.11*	-0.05	10.00*	1.13	2.45

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

IPC-TR-583

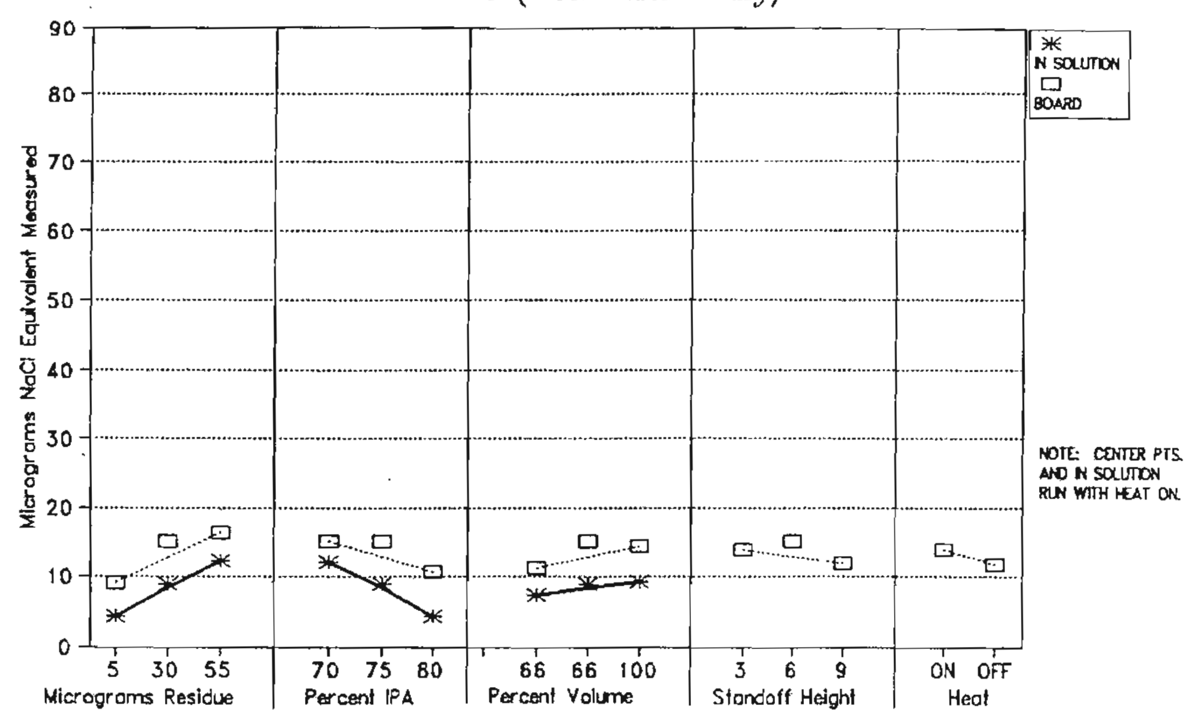
TABLE OF EFFECTS (Board Tests: Total)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	34.01*	32.66*	31.03*	5.68*	22.01*	17.93*	13.14*	18.27*	15.06*
MAIN									
Residue (R)	51.55*	42.86*	38.89*	6.59*	17.82*	17.01*	11.33*	7.33*	13.66*
IPA (I)	-23.88*	-42.32*	-31.83*	-0.61	-27.52*	-14.33*		-4.79*	6.29x
Volume (V)					-1.23	-10.13*	-2.23	3.88	
Channel (C)	2.88	-1.90	-2.79	0.49	-0.37	0.69	0.12	-1.00	-4.49
Heat (H)						6.69*		1.61	
INTERACTION									
R*I	-18.80*	-23.04*	-20.27*	-1.54	-6.37x	-4.13*	-5.68*	-2.46	-3.66
R*V					-2.48	0.07	-0.01	-0.35	
R*C	0.00	-3.50	-0.30	-0.44	-1.09	-3.11x	-0.81	-1.21	4.51
R*H						3.14x		2.72	
I*V					-6.72x	-1.34	0.98	1.78	
I*C	3.38	-6.65	0.06	0.26	-0.03	0.43	1.63	-0.58	-2.31
I*H						0.13		4.85	
V*C					1.56	1.53	-1.54	2.20	
V*H						1.03		-3.12	
C*H						-3.94*		-2.53	
R*I*V					-2.42		1.96		
R*I*C	4.77	-3.11	3.99	-0.31	-2.36		-0.24		6.09x
R*V*C					3.58		0.36		
I*V*C					-4.41		-0.11		
CENTER	53.69*	47.23*	5.84	1.79	9.72x	1.53	8.26*	0.15	1.48

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

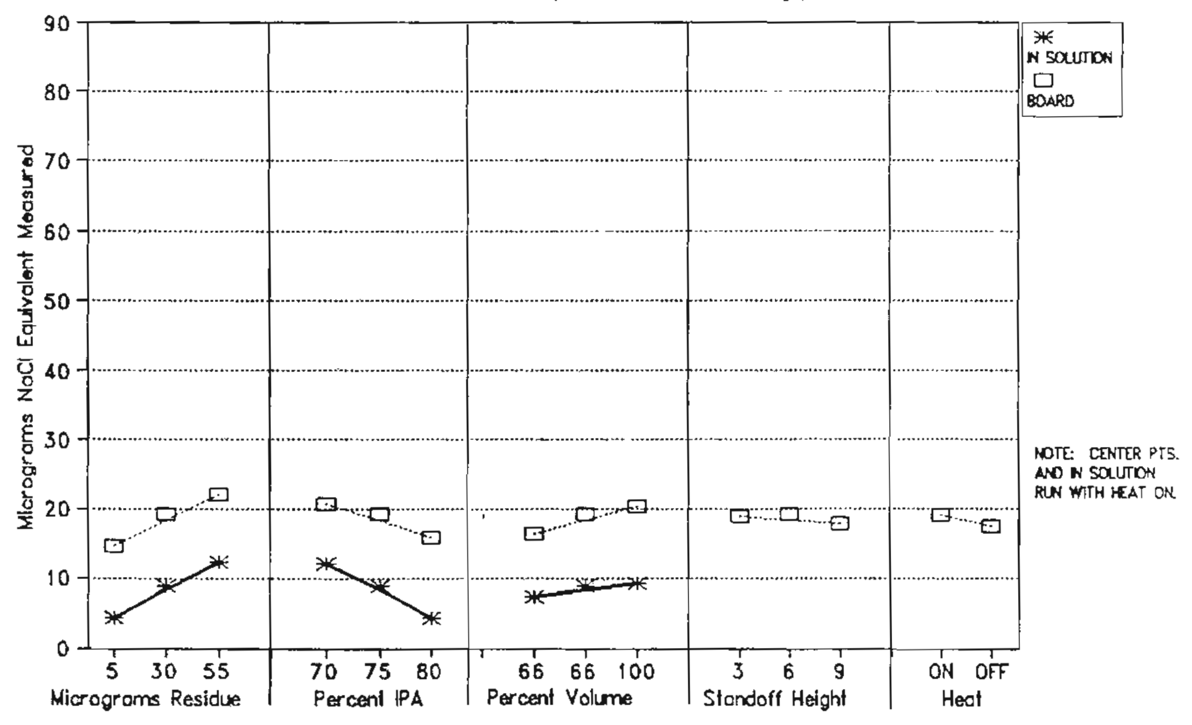
ICOM 5000 : Board w/Block

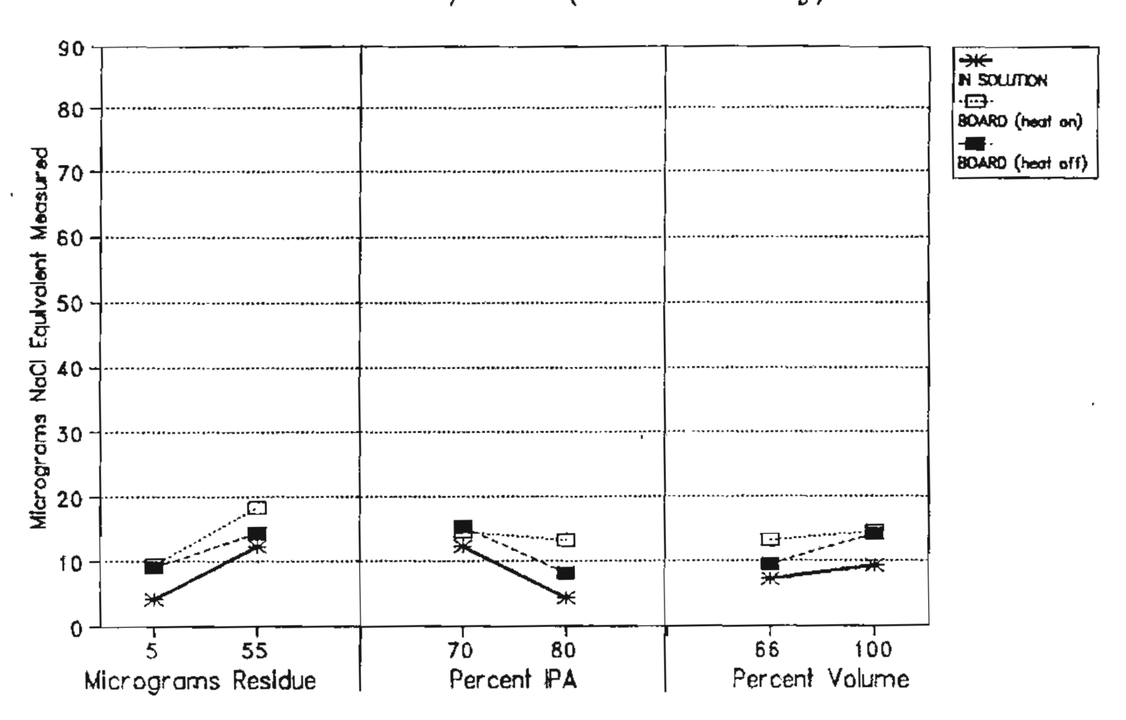
MAIN EFFECTS (weak flux only)

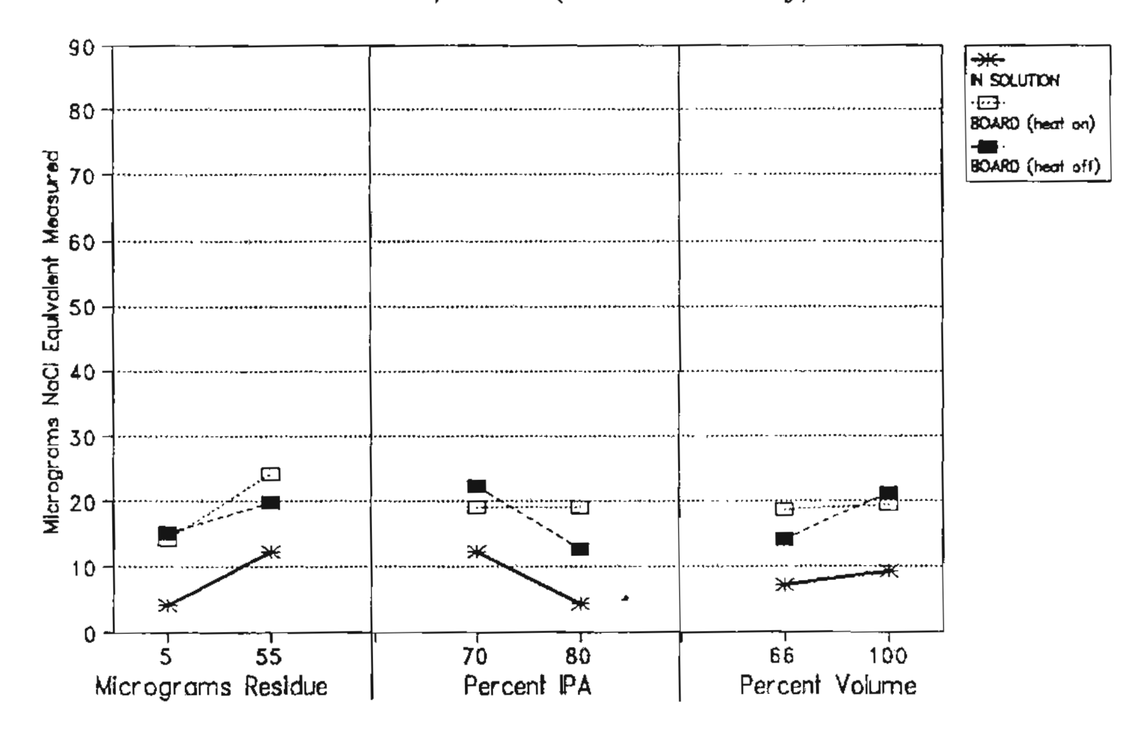


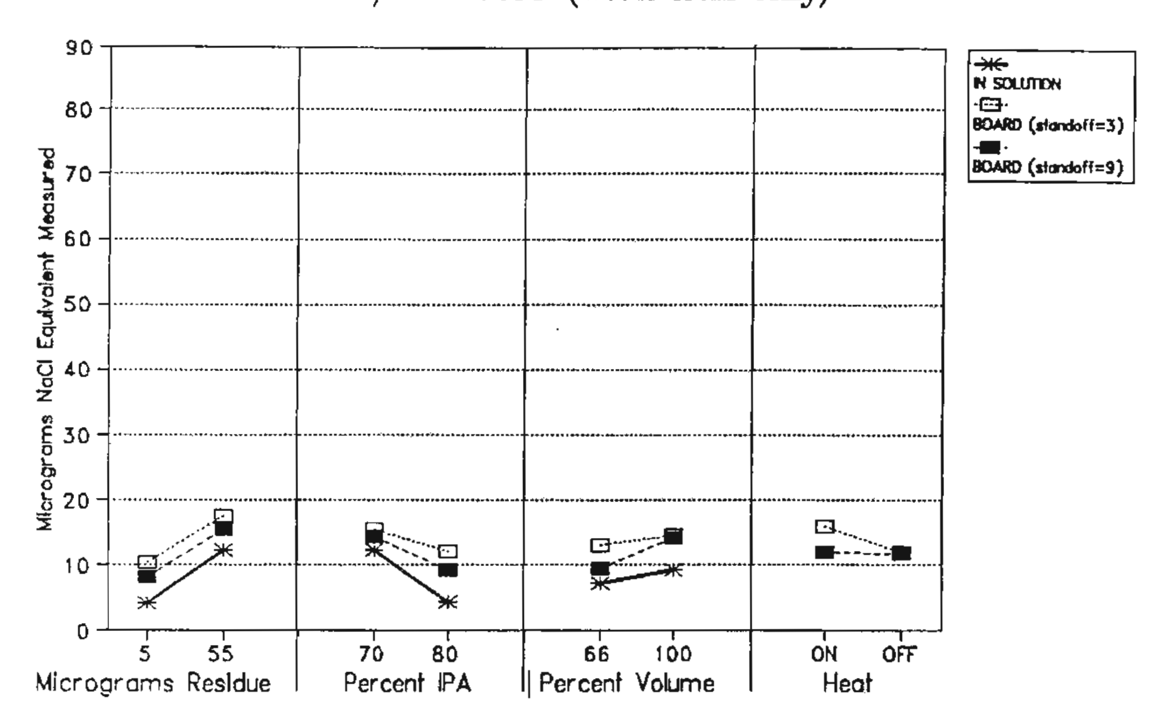
ICOM 5000 : Board Total

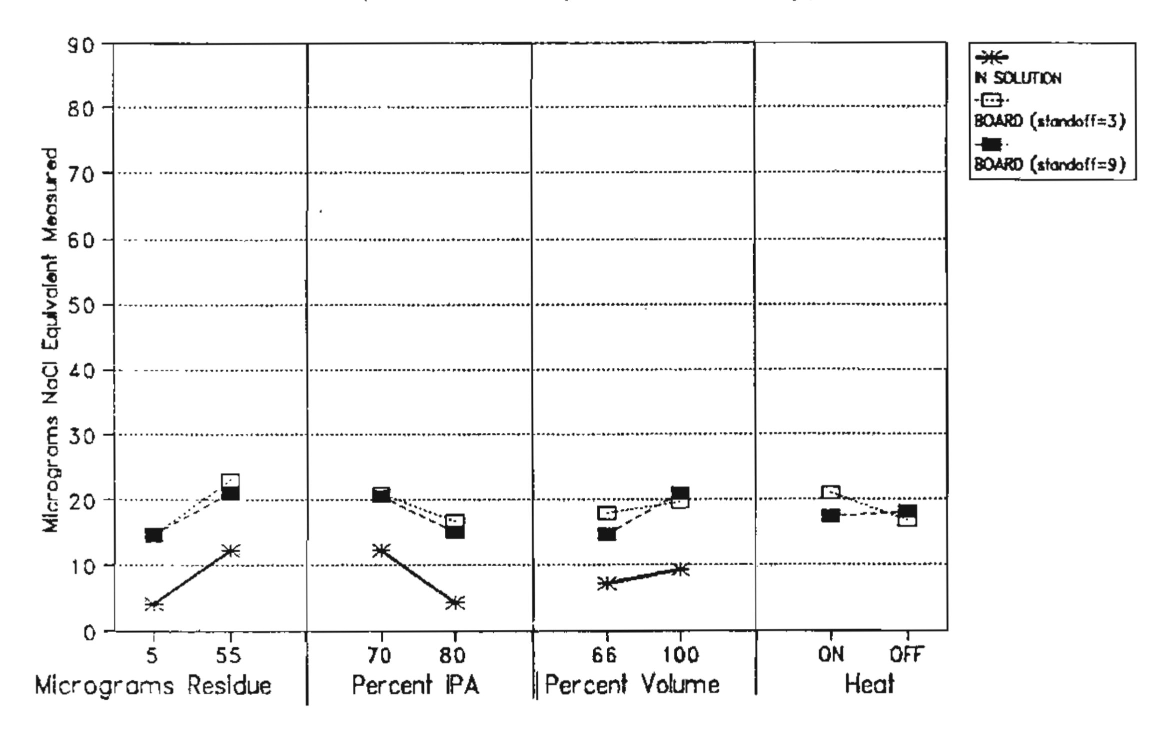
MAIN EFFECTS (weak flux only)

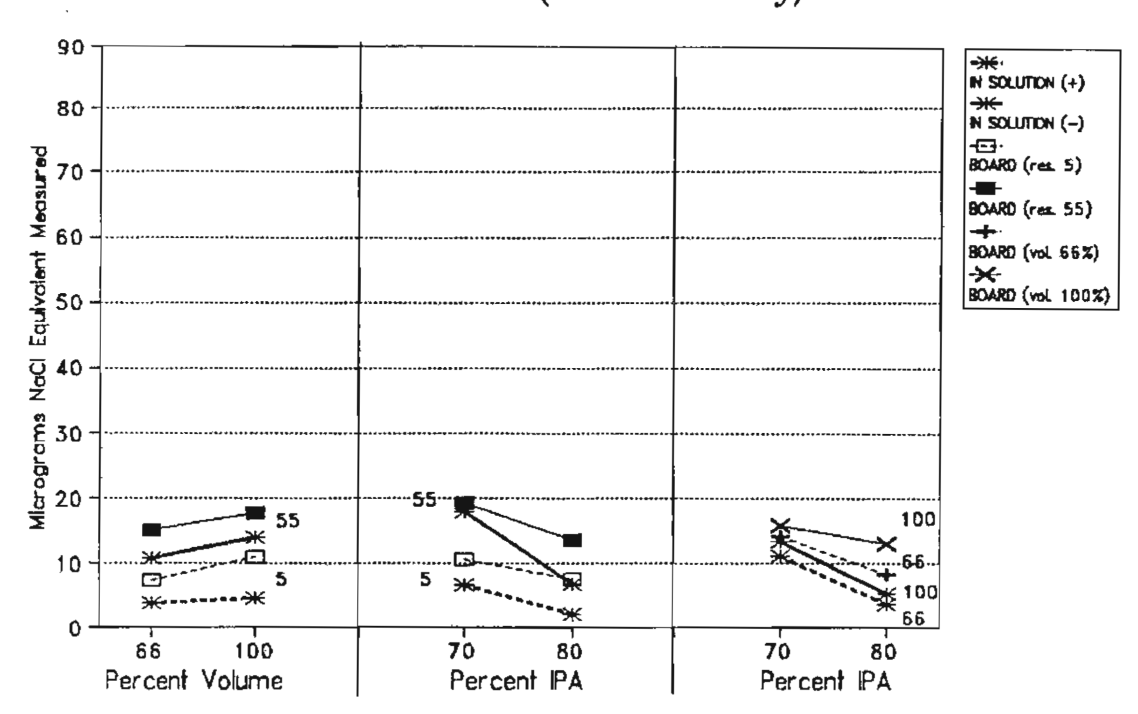


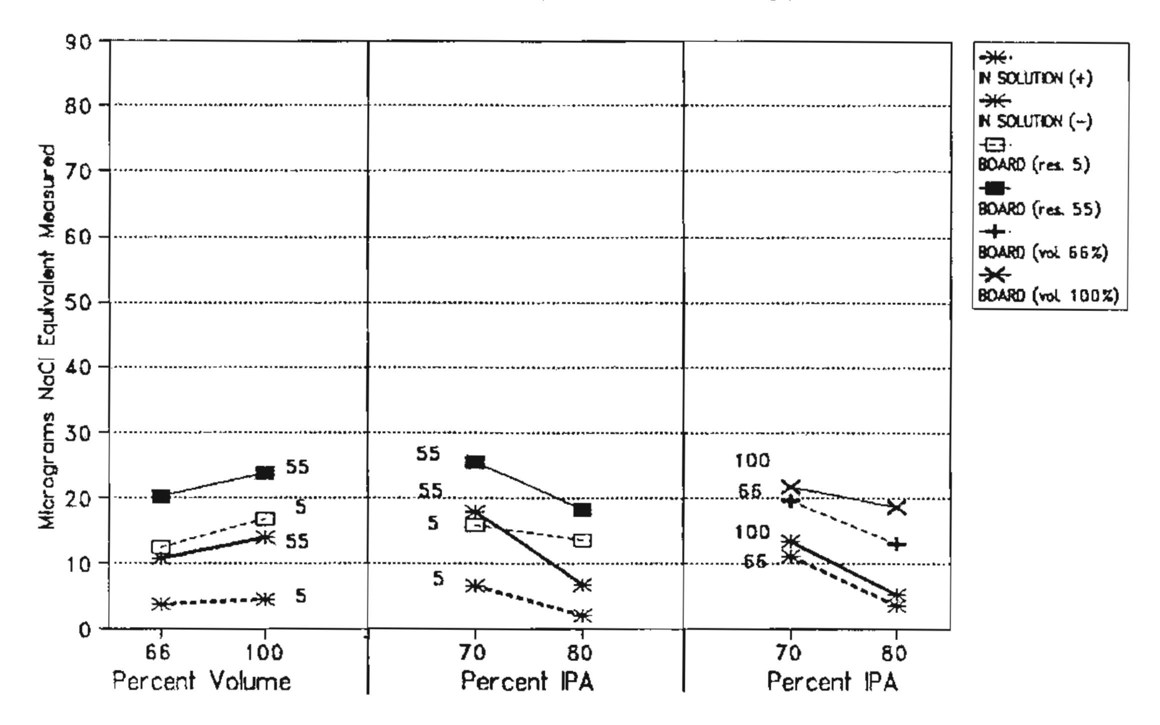

ICOM 5000 : Board w/Block
2-WAY INT. w/HEAT (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
66
100
Percent Volume
IN SOLUTION
BOARD (heat on)
BOARD (heat off)

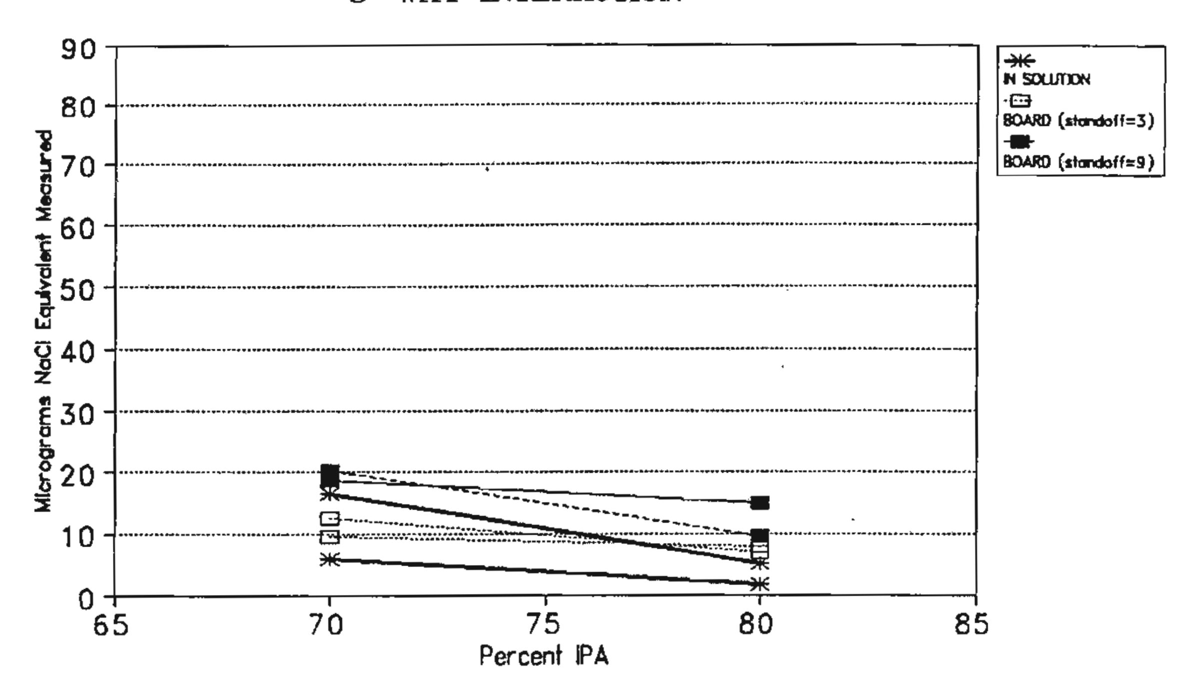

ICOM 5000 : Board Total
2-WAY INT. w/HEAT (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
66
100
Percent Volume
IN SOLUTION
BOARD (heat on)
BOARD (heat off)

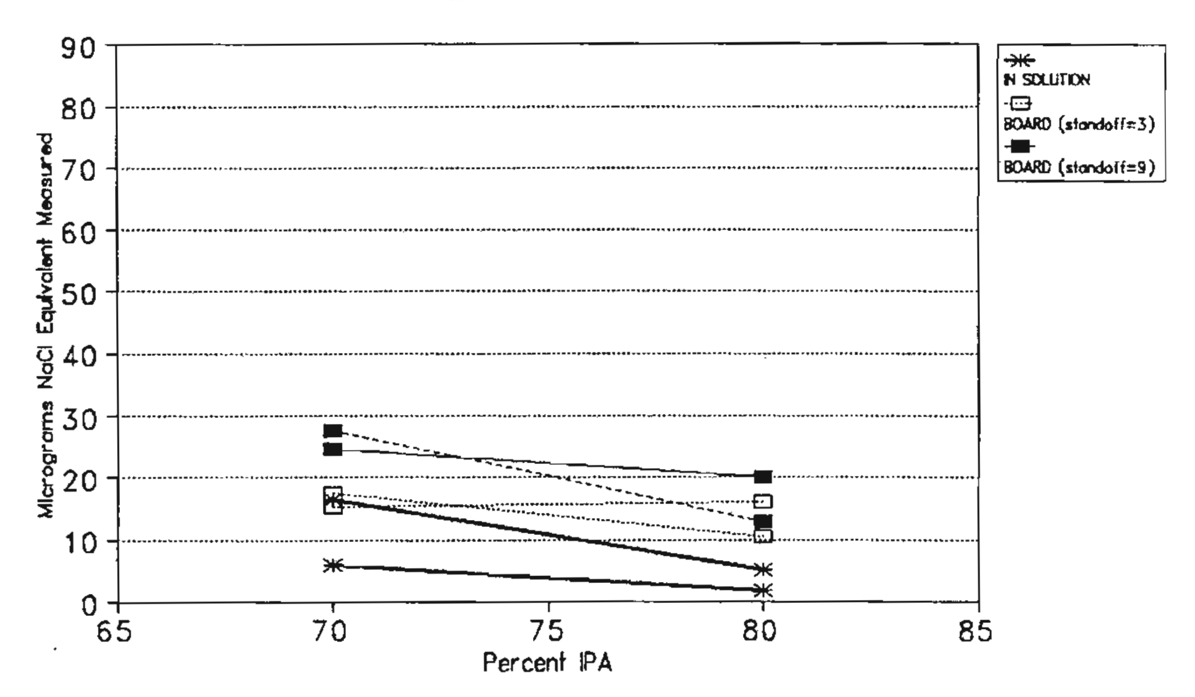

ICOM 5000 : Board w/Block
2-WAY INT. w/STANDOFF (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
66
100
Percent Volume
ON
OFF
Heat


ICOM 5000 : Board Total
2-WAY INT. w/STANDOFF (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
66
100
Percent Volume
ON
OFF
Heat


ICOM 5000 : Board w/Block
OTHER 2-WAY INT. (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
66
100
Percent Volume
70
80
Percent IPA
70
80
Percent IPA
55
5
55
5
100
66
100
66
IN SOLUTION (+)
IN SOLUTION (-)
BOARD (res. 5)
BOARD (res. 55)
BOARD (vol. 66%)
BOARD (vol. 100%)


ICOM 5000 : Board Total
OTHER 2-WAY INT. (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
66
100
Percent Volume
70
80
Percent IPA
70
80
Percent IPA
55
5
55
5
55
55
5
5
100
66
100
66
IN SOLUTION (+)
IN SOLUTION (-)
BOARD (res. 5)
BOARD (res. 55)
BOARD (vol. 66%)
BOARD (vol. 100%)


ICOM 5000 : Board w/Block
3-WAY INTERACTION
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


ICOM 5000 : Board Total
3-WAY INTERACTION
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)

ICOM 5000
IN SOLUTION TEST (weak flux)

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	8.2969	0.1676	49.50	0.000	*
R	4.0431	0.1676	24.13	0.000	*
I	-3.9644	0.1676	-23.66	0.000	*
V	0.9906	0.1676	5.91	0.002	*
R*I	-1.6981	0.1676	-10.13	0.000	*
R*V	0.6019	0.1676	3.59	0.016	*
I*V	-0.1156	0.1676	-0.69	0.521	
R*I*V	0.1656	0.1676	0.99	0.368	
CTR.PT	0.4581	0.4217	1.09	0.327	

s = 0.5473   R-sq = 99.7%   R-sq(adj) = 99.2%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	467.736	58.467	195.20	0.000
Error	5	1.498	0.300		
Total	13	469.234			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	189.131
I	1	219.479
V	1	18.472
R*I	1	35.808
R*V	1	4.043
I*V	1	0.113
R*I*V	1	0.338
CTR.PT	1	0.353

ICOM 5000
BOARD TEST w/BLOCK

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	12.807	0.7112	18.01	0.000	*
R	3.6028	0.7112	5.07	0.000	*
I	-2.1966	0.7112	-3.09	0.011	*
V	1.5897	0.7112	2.24	0.049	*
C	-0.9941	0.7112	-1.40	0.192	
H	1.0609	0.7112	1.49	0.167	
R*I	-0.6828	0.7112	-0.96	0.360	
R*V	-0.2466	0.7112	-0.35	0.736	
R*C	0.0322	0.7112	0.05	0.965	
R*H	0.9322	0.7112	1.31	0.219	
I*V	0.7678	0.7112	1.08	0.306	
I*C	-0.4434	0.7112	-0.62	0.547	
I*H	1.4416	0.7112	2.03	0.070	x
V*C	0.7403	0.7112	1.04	0.322	
V*H	-0.8022	0.7112	-1.13	0.286	
C*H	-0.9084	0.7112	-1.28	0.230	
CTR.PT	1.132	2.224	0.51	0.622	

s = 3.285 R-sq = 86.8% R-sq(adj) = 65.8%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	16	712.50	44.53	4.13	0.014
Error	10	107.90	10.79		
Total	26	820.40			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	260.11
I	1	172.00
V	1	82.77
C	1	11.47
H	1	38.51
R*I	1	20.74
R*V	1	0.23
R*C	1	1.20
R*H	1	18.54
I*V	1	12.58
I*C	1	4.19
I*H	1	44.33
V*C	1	11.69
V*H	1	13.73
C*H	1	17.61
CTR.PT	1	2.80

ICOM 5000
BOARD TEST TOTAL

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	18.267	1.449	12.61	0.000	*
R	3.667	1.449	2.53	0.030	*
I	-2.397	1.449	-1.65	0.129	
V	1.939	1.449	1.34	0.210	
C	-0.501	1.449	-0.35	0.737	
H	0.803	1.449	0.55	0.592	
R*I	-1.231	1.449	-0.85	0.416	
R*V	-0.177	1.449	-0.12	0.905	
R*C	-0.606	1.449	-0.42	0.684	
R*H	1.358	1.449	0.94	0.371	
I*V	0.891	1.449	0.62	0.552	
I*C	-0.290	1.449	-0.20	0.845	
I*H	2.424	1.449	1.67	0.125	
V*C	1.098	1.449	0.76	0.466	
V*H	-1.561	1.449	-1.08	0.307	
C*H	-1.264	1.449	-0.87	0.404	
CTR.PT	0.147	4.530	0.03	0.975	

s = 6.692   R-sq = 69.8%   R-sq(adj) = 21.4%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	16	1033.68	64.60	1.44	0.282
Error	10	447.81	44.78		
Total	26	1481.48			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	247.94
I	1	246.53
V	1	145.14
C	1	0.15
H	1	17.67
R*I	1	61.18
R*V	1	0.16
R*C	1	19.58
R*H	1	39.35
I*V	1	16.95
I*C	1	1.79
I*H	1	125.39
V*C	1	25.73
V*H	1	52.00
C*H	1	34.07
CTR.PT	1	0.05

Unusual Observations

Obs.	R	ICOM.T	Fit	Stdev.Fit	Residual	St.Resid
16	-1.00	7.90	18.31	4.73	-10.41	-2.20R
33	-1.00	28.72	18.31	4.73	10.41	2.20R

R denotes an obs. with a large st. resid.

PROTONIQUE

CONTAMINOMETER CM5 (static)

Static
Unheated
No spray

CONTAMINOMETER CM5/STATIC MODE
RANDOMIZED EXPERIMENTAL MATRIX
PWB/WEAK FLUX TESTS

RANDOMIZED RUN SEQUENCE	STANDARD ORDER	A B C	A AMOUNT OF RESIDUE (μGR/IN^2)	B IPA (VOL%)	C CHANNEL DEPTH (MILS)	IONIC READING W/BLOCK	IONIC READING WO/BLOCK	TEST DURATION W/BLK	TEST DURATION WO/BLK	TEST CELL TEMP.
1	1	- - -	5	70	3	2.5	4.0	3:12	3:00	75°F
2	2	+ - -	55	70	3	21.1	5.1	8:40	3:00	75°F
3	6	+ - +	55	70	9	7.6	6.6	6:24	3:00	75°F
4	5	- - +	5	70	9	3.3	0.0	3:00	3:00	76°F
5	9	0 0 0	30	75	6	11.8	4.4	4:48	3:00	75°F
6	10	0 0 0	30	75	6	8.0	4.8	5:40	3:00	75°F
7	11	0 0 0	30	75	6	15.4	5.2	3:00	3:00	75°F
8	8	+ + +	55	80	9	14.8	10.3	4:16	3:24	75°F
9	3	- + -	5	80	3	7.1	14.8	3:00	3:24	75°F
10	4	+ + -	55	80	3	18.1	3.2	3:00	3:12	76°F
11	7	- + +	5	80	9	1.9	2.6	6:28	3:00	75°F
12	1	- - -	5	70	3	0.6	0.0	3:00	3:00	75°F
13	2	+ - -	55	70	3	3.9	14.8	4:24	8:32	75°F
14	6	+ - +	55	70	9	23.2	0.0	3:00	3:00	76°F
15	5	- - +	5	70	9	2.6	0.0	3:00	3:00	76°F

TABLE OF EFFECTS (Board Tests with Blocks)

	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	32.59*	18.77*	27.21*	3.81*	15.33*	14.68*	10.73*	12.81*	9.29*
MAIN									
Residue (R)	50.88*	24.01*	37.81*	5.26*	12.28*	16.60*	10.19*	7.21*	11.83*
IPA (I)	-21.88*	-35.43*	-26.69*	-1.41	-20.51*	-11.30*		-4.39*	2.38
Volume (V)					-2.17	-4.63*	-0.93	3.18*	
Channel (C)	5.12	10.27*	0.12	1.11	1.89	0.88	0.05	-1.99	-1.05
Heat (H)						6.94*		2.12	
INTERACTION									
R*I	-17.27*	-22.08*	-20.52*	-1.96	-6.18*	-4.69*	-4.99*	-1.37	0.13
R*V					-3.92x	0.81	0.13	-0.49	
R*C	1.28	7.14	0.16	0.26	0.24	-3.16*	0.13	0.06	0.85
R*H						3.10*		1.86	
I*V					-7.98*	-3.39*	-0.48	1.54	
I*C	1.68	-8.29	-1.70	0.69	1.26	0.64	1.55	-0.89	-3.20
I*H						-0.30		2.88x	
V*C					0.29	1.19	-0.81	1.48	
V*H						1.28	0.13	-1.60	
C*H						-3.73*		-1.82	
R*I*V					-2.18		0.33		
R*I*C	3.83	-5.34	4.44	0.24	-1.14		0.34		0.10
R*V*C					1.92		0.56		
I*V*C					-3.44x		-0.74		
CENTER	53.68*	48.85*	6.48	2.36	16.11*	-0.05	10.00*	1.13	2.45

Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

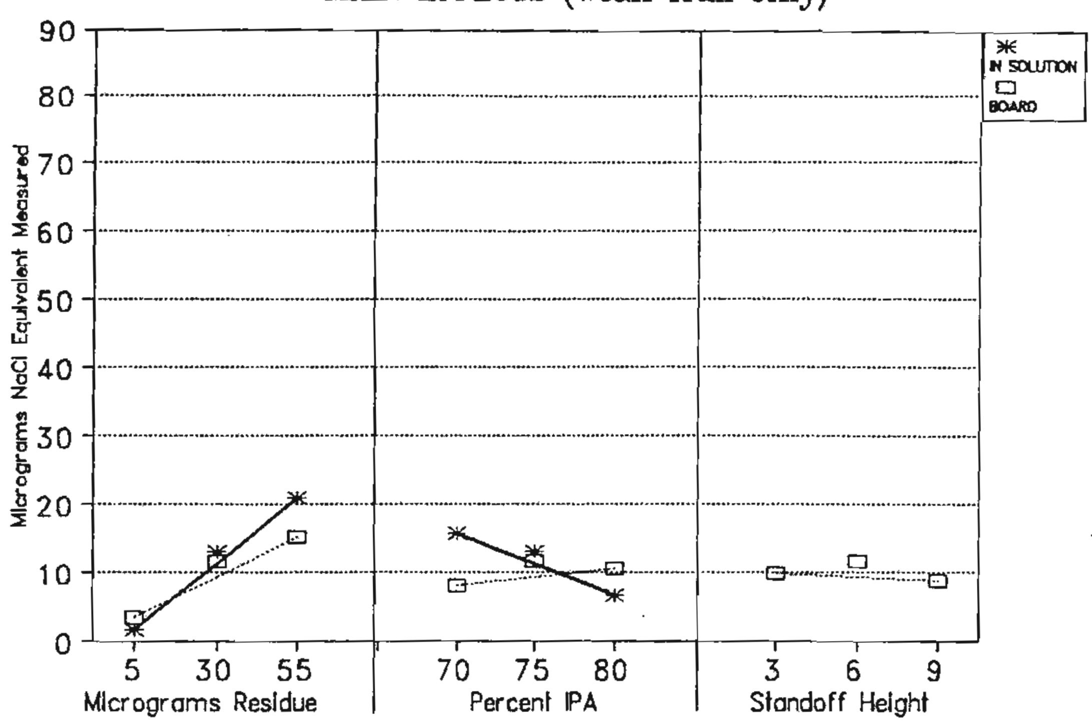
IPC-TR-583

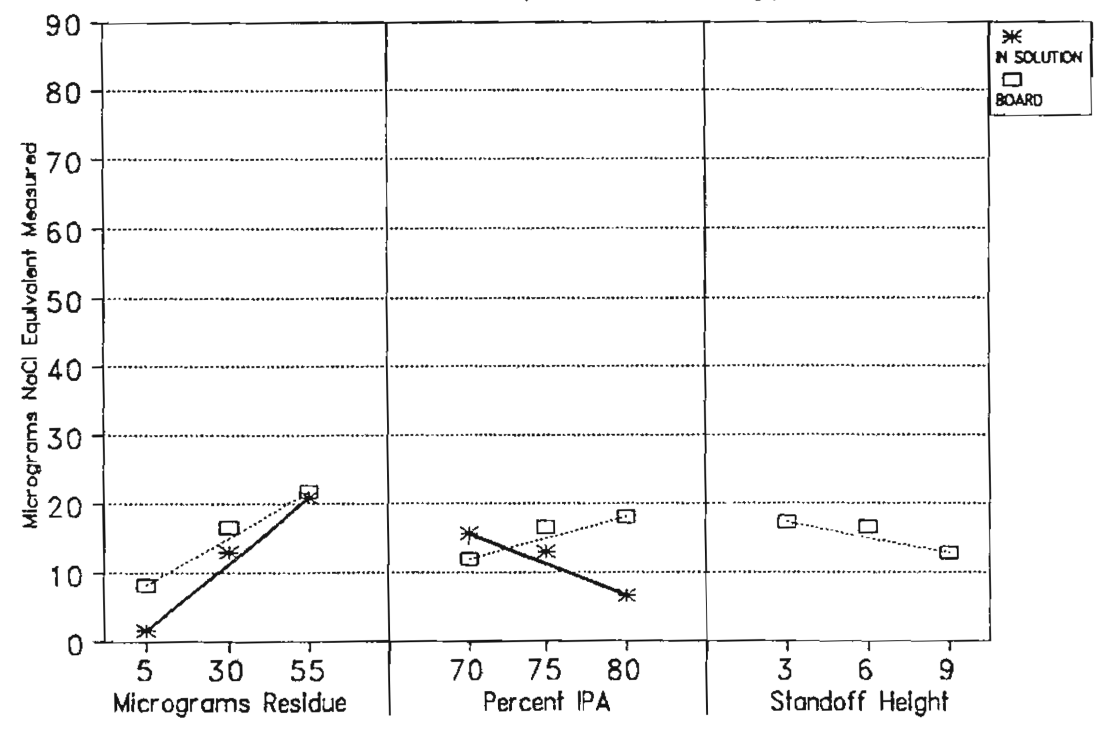
345

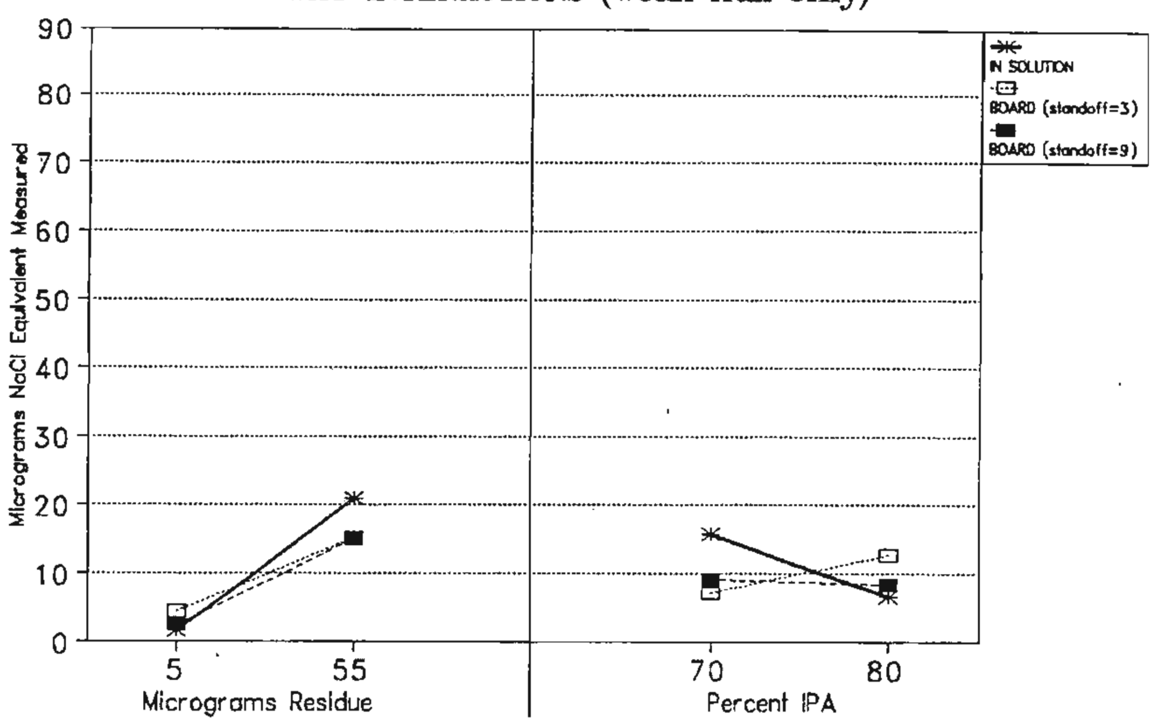
TABLE OF EFFECTS (Board Tests: Total)

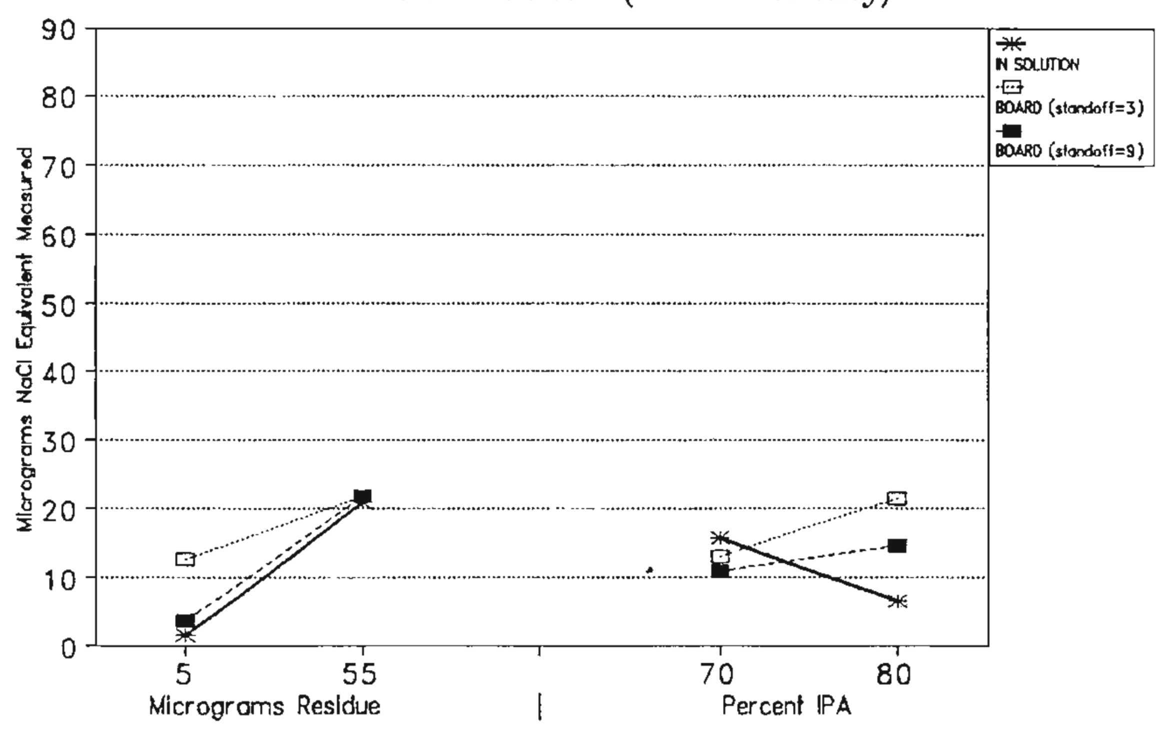
	DYNAMIC SYSTEMS				STATIC SYSTEMS				
	Zero Ion	Iono-graph 500M	Iono-graph 500SMD	CM-5 dynamic	Omega-meter 600R	Omega-meter 600SMD	Ionex 2000	Icom 5000	CM-5 static
MEAN	34.01*	32.66*	31.03*	5.68*	22.01*	17.93*	13.14*	18.27*	15.06*
MAIN									
Residue (R)	51.55*	42.86*	38.89*	6.59*	17.82*	17.01*	11.33*	7.33*	13.66*
IPA (I)	-23.88*	-42.32*	-31.83*	-0.61	-27.52*	-14.33*	-14.43*	-4.79*	6.29x
Volume (V)					-1.23	-10.13*	-2.23	3.88	
Channel (C)	2.88	-1.90	-2.79	0.49	-0.37	0.69	0.12	-1.00	-4.49
Heat (H)						6.69*		1.61	
INTERACTION									
R*I	-18.80*	-23.04*	-20.27*	-1.54	-6.37x	-4.13*	-5.68*	-2.46	-3.66
R*V					-2.48	0.07	-0.01	-0.35	
R*C	0.00	-3.50	-0.30	-0.44	-1.09	-3.11x	-0.81	-1.21	4.51
R*H						3.14x		2.72	
I*V					-6.72x	-1.34	0.98	1.78	
I*C	3.38	-6.65	0.06	0.26	-0.03	0.43	1.63	-0.58	-2.31
I*H						0.13		4.85	
V*C					1.56	1.53	-1.54	2.20	
V*H						1.03		-3.12	
C*H						-3.94*		-2.53	
R*I*V					-2.42		1.96		
R*I*C	4.77	-3.11	3.99	-0.31	-2.36		-0.24		6.09x
R*V*C					3.58		0.36		
I*V*C					-4.41		-0.11		
CENTER	53.69*	47.23*	5.84	1.79	9.72x	1.53	8.26*	0.15	1.48

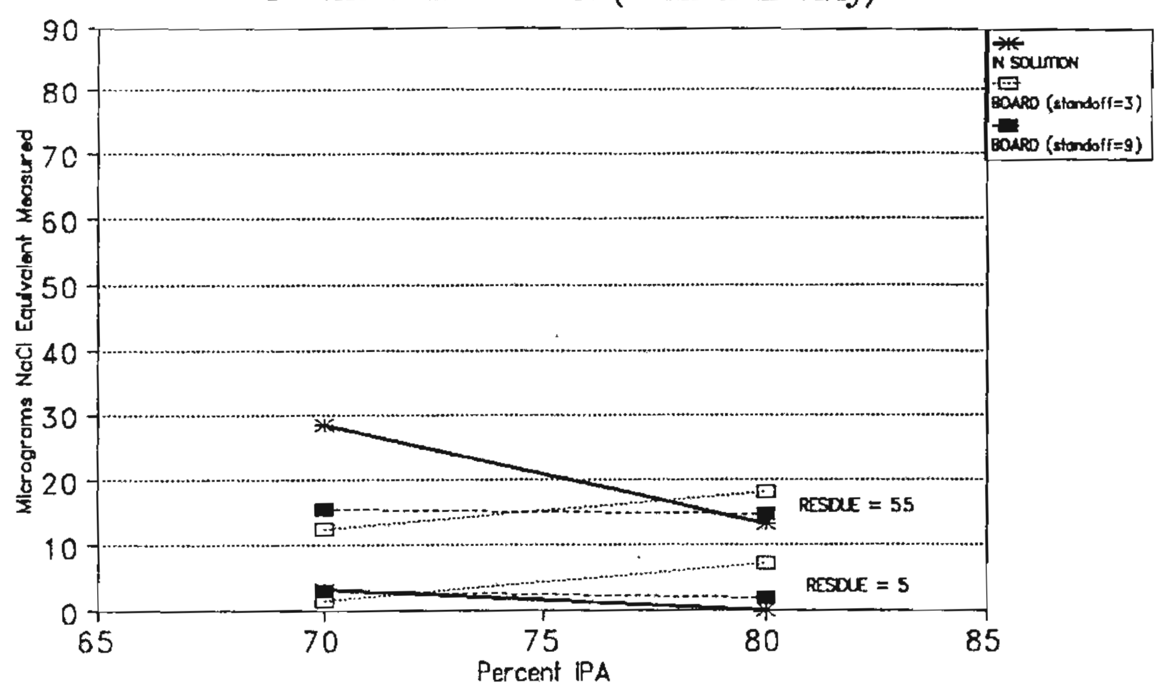
Mean Response = average of all runs (except center points, adjusted for unbalance in design).
Main Effects = average change in response when setting of this factor changed from low to high level.
Interactions = difference in the effect of one factor when level changed in other factor(s).
Notation: R*I is the Residue/IPA interaction.
Center points = difference between the response observed at the center point and the expected value at center based on other test runs (expected value = mean response).
* indicates a factor is statistically significant with > 95% confidence, based on experimental error.
x indicates a factor is statistically significant with 90 - 95% confidence.

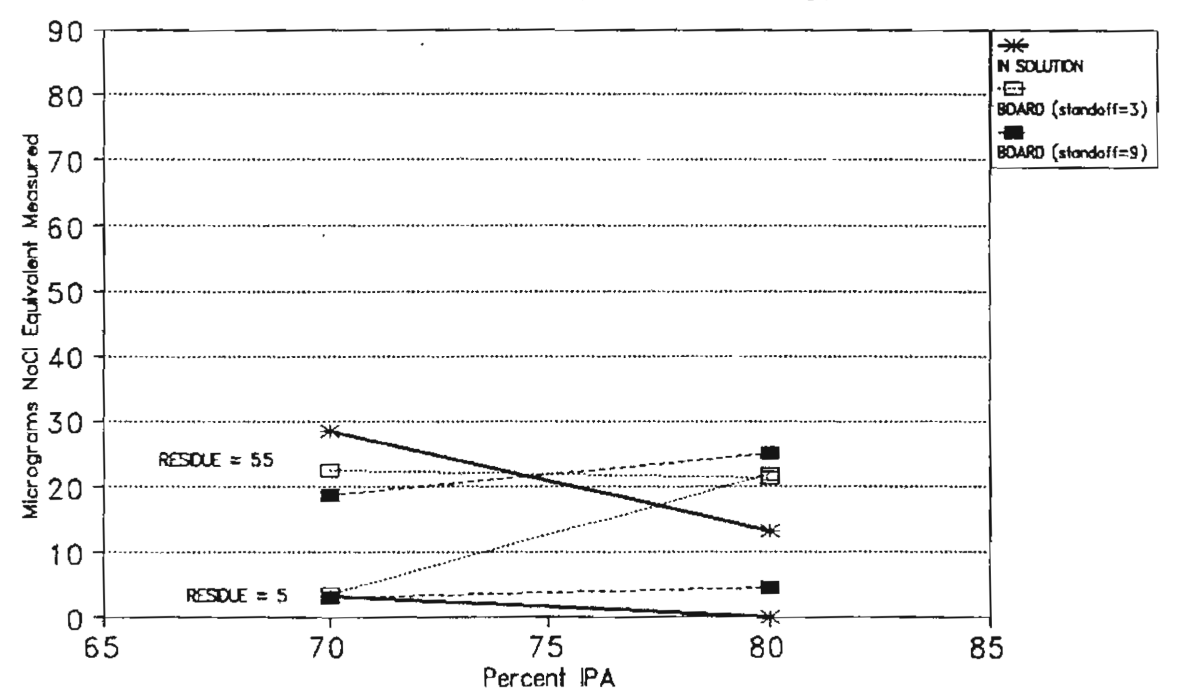

CONTAMINOMETER (static) : Board w/Block
MAIN EFFECTS (weak flux only)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Micrograms NaCl Equivalent Measured
IN SOLUTION
BOARD
5
30
55
Micrograms Residue
70
75
80
Percent IPA
3
6
9
Standoff Height


CONTAMINOMETER (static): Board Total
MAIN EFFECTS (weak flux only)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Micrograms NaCl Equivalent Measured
IN SOLUTION
BOARD
5
30
55
Micrograms Residue
70
75
80
Percent IPA
3
6
9
Standoff Height


CONTAMINOMETER (static): Board w/Block
2-WAY INTERACTIONS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


CONTAMINOMETER (static): Board Total
2-WAY INTERACTIONS (weak flux only)
Micrograms NaCl Equivalent Measured
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
55
Micrograms Residue
70
80
Percent IPA
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)


CONTAMINOMETER (static): Board w/Block
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85


CONTAMINOMETER (static): Board Total
3-WAY INTERACTION (weak flux only)
IN SOLUTION
BOARD (standoff=3)
BOARD (standoff=9)
RESIDUE = 55
RESIDUE = 5
Micrograms NaCl Equivalent Measured
Percent IPA
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
65
70
75
80
85

CONTAMINOMETER CM-5 (static)
IN SOLUTION TEST (weak flux)

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	11.1663	0.4492	24.86	0.000	*
R	9.6337	0.4492	21.44	0.000	*
I	-4.5563	0.4492	-10.14	0.002	*
R*I	-3.0238	0.4492	-6.73	0.007	*
CTR.PT	1.8937	0.8602	2.20	0.115	

s = 1.037 R-sq = 99.6% R-sq(adj) = 99.1%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	4	839.16	209.79	194.91	0.001
Error	3	3.23	1.08		
Total	7	842.39			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	679.47
I	1	105.71
R*I	1	48.76
CTR.PT	1	5.22

CONTAMINOMETER CM-5 (static)
BOARD TEST w/BLOCK

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	9.287	2.162	4.30	0.005	*
R	5.913	2.162	2.74	0.034	*
I	1.188	2.162	0.55	0.603	
C	-0.525	2.162	-0.24	0.816	
R*I	0.063	2.162	0.03	0.978	
R*C	0.425	2.162	0.20	0.851	
I*C	-1.600	2.162	-0.74	0.487	
R*I*C	0.050	2.162	0.02	0.982	
CTR.PT	2.446	4.614	0.53	0.615	

s = 7.060 R-sq = 61.6% R-sq(adj) = 10.5%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	480.34	60.04	1.20	0.422
Error	6	299.04	49.84		
Total	14	779.38			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	416.54
I	1	20.41
C	1	0.00
R*I	1	0.04
R*C	1	2.00
I*C	1	27.31
R*I*C	1	0.03
CTR.PT	1	14.01

CONTAMINOMETER CM-5 (static)
BOARD TEST TOTAL

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p	
Constant	15.056	1.351	11.14	0.000	*
R	6.831	1.351	5.06	0.002	*
I	3.144	1.351	2.33	0.059	x
C	-2.244	1.351	-1.66	0.148	
R*I	-1.831	1.351	-1.36	0.224	
R*C	2.256	1.351	1.67	0.146	
I*C	-1.156	1.351	-0.86	0.425	
R*I*C	3.044	1.351	2.25	0.065	x
CTR.PT	1.477	2.884	0.51	0.627	

s = 4.413 R-sq = 89.5% R-sq(adj) = 75.5%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	8	994.06	124.26	6.38	0.018
Error	6	116.86	19.48		
Total	14	1110.92			

SOURCE	DF	SEQ SS
R	1	664.54
I	1	115.61
C	1	41.44
R*I	1	35.77
R*C	1	18.50
I*C	1	14.26
R*I*C	1	98.82
CTR.PT	1	5.11

CONCLUSIONS

Testing performed at the EMPF has shown that as technology advances and PWA surface areas become smaller, surface residues will become increasingly harder to measure accurately.

Specific Observations/Conclusions

- **Residue Quantity.** The most significant factor that influenced the final contamination result was the quantity of residue being measured. This variable was significant for both "in solution" and "test coupon" data regardless of whether the system was static or dynamic. It was interesting to note that static systems and the dynamic systems were grouped separately, but the dynamic systems measured a more significant change going from low to high concentration levels, yet showing a tighter grouping. It can also be noted that the static systems read similar or higher than the dynamics at low concentration levels, but read lower at higher concentrations.

- **Alcohol Concentration.** Perhaps the next most significant variable was that as the IPA concentration was increased from 70% to 80%, the results dropped. This is not surprising, knowing that it is the water that ionizes the contamination, and the alcohol is there merely to dissolve the nonionic (rosin) material to get access to any trapped ionic contamination. The 70% solution contains more water than the 80% solution, thereby giving this solution more ionizing capabilities. This effect was seen in both "in solution" and "test coupon" tests. Again, there is a definite grouping associated with the static verses dynamic systems, but the dynamic systems seem to be most affected by the alcohol change. This is probably due to the fact that the dynamic systems assume an infinite solution volume, thereby continually providing "fresh" solution to ionize contamination residues.

- **Flux Effect.** In comparing weakly ionizable flux to strongly ionizable flux during the "in solution" testing, the dynamic systems showed this variable to be insignificant with the exception of the Ionograph 500SMD. The Ionograph 500SMD and all of the static systems showed that flux type was a significant variable. It was interesting to note that the flux effect on all of the static systems showed a positive effect when the flux type shifted from a weak flux to a strong flux, whereas the dynamic

systems showed a slightly negative effect. Though the weakly ionizable and strongly ionizable fluxes were different from each other, the trends that occurred when changing other variables were similar. Once the fluxes were introduced to the test coupons and baked, however, a wide variation in the strongly ionizable flux data began to appear. These fluctuations caused concern as to the statistical validity of the data. The same variations were not detected when using the weakly ionizable flux on the test coupons. Because of these wide variations and the trend similarities to weakly ionizable flux when other variables were altered during "in solution" testing, it was decided by the ICTG not to perform extensive testing on the strongly ionizable flux.

- **Standoff Height.** The standoff height did not have as big of an effect as anticipated for the static systems. Though the standoff height was increased from 3 mils to 9 mils, a similar amount of residue was still being left under the stainless steel plate and no significant trends were noted. Though not significant, the standoff height seemed to affect the dynamic systems more than the static systems, meaning that a larger percent of residue was removed from under the 9 mil standoff than that of the 3 mil standoff. Statistically, the Ionograph 500M was the only system that measured a significant change in residue detected as the standoff height was increased.

- **Temperature Effect.** The temperature of the solvent in all of the systems increased but stabilized during operation, even those without heating elements. Due to pumps moving the solvent and friction in the plumbing, solvent temperatures would typically increase in an unheated system 10 to 15 °F from initial room temperature. This correlates with a study performed at DuPont. Only the Icom 5000 and the Omegameter 600SMD could be run with the heaters in the "on" or "off" position. Both systems showed higher results when the solvent was heated. In addition, the heated systems, when crossed with the solution volume, indicated that the volume variable was more significant.

- **Deadband.** Most of the systems have a region beyond the maximum capability of the resistivity probes known as the deadband. Since each probe has a maximum range, the quantity of ionic residues present above the systems' probe capability will not be measured until the resistivity drops below the upper limit of the probe. For example, if the maximum capability of the probe is 100 megohm-cm, but the resistance exceeds 100

megohm-cm, the display will continue to read 100 megohm-cm. Any ionic residues that drop the resistance to 100 megohm-cm would not be measured. Resistivity, however, is not linear, and the amount of residue it takes to drop the resistivity from 150 megohm-cm to 140 megohm-cm is much less than the amount of residue it takes to drop the resistivity from 50 megohm-cm to 40 megohm-cm. Since there is an area where the ions pass the resistivity probe, but are not detected, the deadband zone should be avoided or false low readings will result. The deadband can be avoided by starting each test at the same point, and not allowing an extended cleaning cycle.

- **Carbon Dioxide Absorption.** Carbon dioxide can dissolve in water to form carbonic acid. This can weakly ionize into H^+ and HCO_3^- ions, which will cause an increase in the overall ionic readings. Extractions which are made for longer times will show higher CO_2 errors, since time allows more CO_2 to be absorbed from the atmosphere. In most instances, the CO_2 contributions will be small, representing only a relatively small error in measurement results. If, however, we are measuring a small sample in a large volume of extracting solution, the effective total micrograms of contamination will give rise to a larger relative error in the reading expressed as $\mu g/in^2$. There did not appear to be any correlation between increased CO_2 absorption and use of sprays. The CO_2 absorption was not detected in the dynamic systems, since they are continually deionizing the solvent and removing the small amount of CO_2 before it has a chance to accumulate to a measurable amount. Further testing, however, would be required to fully characterize the effects of CO_2.

- **Volume effect.** The volume effect was perhaps the most unusual observation made in this study. When the volume was increased from a low level to a higher level during the "in solution" tests, the results also tended to increase. This is consistent with original hypothesis in that the more solution available will provide a greater ionizing capability. In addition, the heated systems (Omegameter 600 SMD and the Icom 5000) indicated that the volume variable seemed more significant. In contrast, however, when the volume was increased during the coupon testing, the ionic results tended to drop. This decrease in ionic measurement readings was consistent on the static and the dynamic systems with the exception of the Icom 5000. There is no explanation for this observance at present.

General Observations

- Throughout the testing, a disagreement, or separation between the "dynamic" and the "static" families of cleanliness test equipment was apparent. The static systems tended to "group" the data that was collected, as did the dynamic systems. However, the groupings were separate in that the contamination levels detected by the dynamic systems were grouped higher, while the static systems tended to group the same level of contamination to a lower resistivity level. Additional testing, not outlined in the original test plan, showed that there were apparent limitations associated with the "static" process that hindered the ability of the solvent to ionize, and thus measure, contamination as an analytical tool.

- Ionic conductivity testing should not be the sole method for evaluating and choosing a process or material. Other methods include ion chromatography, HPLC, surface insulation resistance (SIR), electrochemical migration, and residual rosin analysis.

- Close variable control is required on current ionic conductivity/resistivity test methods and equipment to maintain consistency. Current ionic conductivity test methods and equipment can be validly used for process control tools. Though there are variables that influence final ionic readings, all of the systems will detect equipment failures, material handling and process errors. Current ionic cleanliness systems will indicate subtle changes to a users existing manufacturing process, when used as a process control tool.

- While they are suitable for use in process control, current ionic conductivity/resistivity test methods and equipment are not accurate analytical tools and should only be used for monitoring relative changes in cleanliness. This is consistent with the development and use of test methods since 1972.

- Pass/fail limits and equivalency factors are not valid applications for current ionic conductivity/resistivity test methods and equipment due to the accuracy and precision problems noted above. However, until a more precise method for analyzing residual contamination is developed, this is the only tool we have and all current contract requirements must be adhered to.

IPC-TR-583

APPENDIX A

DESIGN OF EXPERIMENTS: OVERVIEW

Why Design of Experiments?

The purpose of running any experiment is to better understand how specific factors affect the output of a process or the performance of a product. A successful experiment is one that provides the research team with reliable information: information that may either agree or disagree with their theories about how the process works. Agreement with research theory will improve ability to predict outcomes, and disagreement will lead to revised theories which can be studied in further experimentation.

Some of the advantages of using a statistically designed experiment include:

- dealing with variation (experimental error)
- identifying non-linear and interaction effects
- relative ease of analysis
- efficient experimentation (most information with fewest runs)

Variation is present in all processes to some extent. In any experiment, variation due to uncontrolled factors or due to measurement error can produce misleading results. A well designed experiment will reduce the effect of experimental error. It will also make it possible to determine if the factors being studied have a "significant" effect. Misleading conclusions can also occur when the effect due to a particular factor is non-linear, or if it is dependent on the setting of another factor (called an interaction effect). A statistically designed experiment makes it easier to identify these complex effects.

The most efficient and reliable approach is to use a statistically designed experiment. A well-designed experiment can provide conclusions using rather elementary methods of analysis, while a poorly designed one may not provide useful information, even with the most sophisticated analysis.

The Statistically Designed Experiment

There are several types of designed experiments in common use. Those used in this study are the full factorial and fractional factorial designs. These are used to study many factors concurrently, and to identify which of the factors have a significant effect. Usually, each factor is run at only two

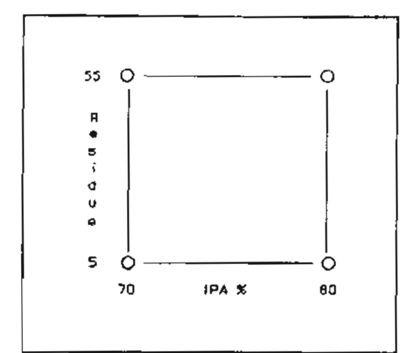


Figure 19 Full Factorial

different "levels" (two different settings). In full factorial designs, all possible combinations are run in the experiment. An easy way to picture it is geometrically: With two factors, the test runs in the experiment would be the four corners of a square (Figure 19). With three factors, the runs would be the eight corners of a cube (Figure 20).

In a fractional factorial design, not all combinations are run in the experiment, but if the right ones are selected they can still provide reliable information about the factors. In the design pictured in Figure 20, either the "*" or "o" corners of the cube would be an example of a fractional factorial design for three factors.

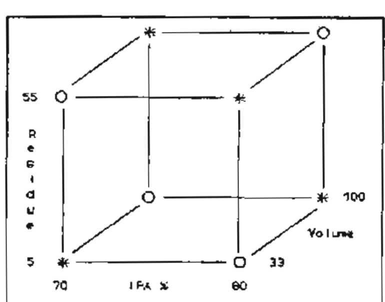


Figure 20 Fractional Factorial

Statistically designed experiments provide advantages in analysis and interpretation because they are "orthogonal". Orthogonal designs are balanced with respect to all factors. This can be seen if the cube is collapsed into any plane or into any line. In the ionic conductivity experiments, the repeated runs added to the end of each experiment cause the design to be unbalanced (usually with respect to IPA), making the analysis less straightforward.

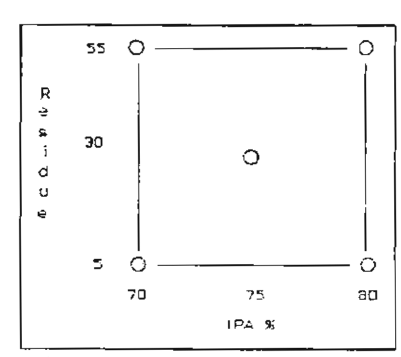


Figure 21 Full Factorial & Center Point

In many experiments, test runs are included at the center point to determine whether there is evidence of a non-linear effect (Figure 21). However, the information gained from a center point will not indicate which factor is responsible for the non-linear effect. Additional test runs would be necessary to verify any theories regarding this. If there is strong suspicion that one particular factor will have a non-linear effect, then the design should be set up to include at least three levels of that factor throughout the design instead of a center point.

Interpreting Results

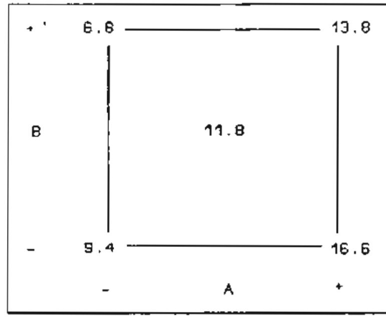


Figure 22
Simple Factorial Example

A simple example of a two factor experiment is shown in Figure 22 and will be used to describe the analysis and interpretation of results. The two factors (A,B) are run at two levels (-,+) and the "-" and "+" signs represent "-1" and "+1", which are standard coded values for the levels of a factorial design. The center point would then be "0". The effects that can be determined in this example are: the main effect of A, the main effect of B, the interaction effect between them (AB), and the center point will be used to test the linearity.

- Main Effects

A main effect is the difference in output when a factor is changed from low level to high level. When the design is balanced, this is the average of all runs at the low level subtracted from the average of all runs at the high level. In the example given in Figure 22, the main effect of A would be:

$$A = (13.8 + 16.6)/2 - (6.8 + 9.4)/2 = 15.2 - 8.1 = 7.1$$
$$B = (6.8 + 13.8)/2 - (9.4 + 16.6)/2 = 10.3 - 13.0 = -2.7$$

Similarly, the main effect of B would be -2.7. The negative effect means that the response (the output) decreases as factor B is changed from low level to high level. Main effects are graphically presented by plotting the average response at each level (see Figure 23). The response at the center point is plotted on the same graph to visually check for curvature (non-linearity). It should fall on or near the center of the line, as in this example, when the effects are linear. In many of the Ionic Conductivity experiments, the center point fell far off the line, indicating a non-linear effect.

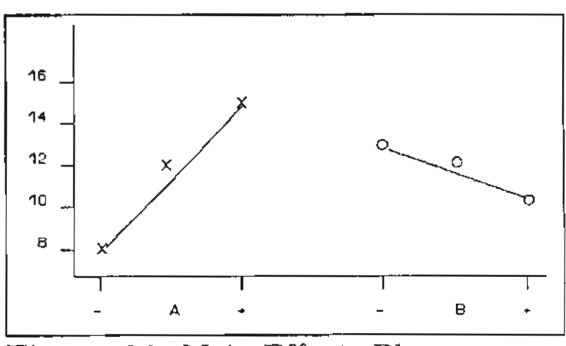


Figure 23 Main Effects Plot

- Interactions

Again, using the example given in Figure 22, the effect of each factor is consistent regardless of the level of the other factor. The effect of factor A is 7.0 when B is at the high level and 7.2 when B is at the low level. Similarly, the effect of B is -2.8 at the high level of A and -2.6 at the low level of A. The effects of these factors are independent. There is no interaction.

When the effect of a factor is dependent on the level of one or more other factors, then an interaction exists. In this case, the effects of these factors cannot be interpreted separately. Consider the example in Figure 24. The effect of factor C is 10.6 when factor D is at the high level, but it is only 2.6 when D is at the low level. Similarly, the effect of D is 3.4 at the high level of C, and it is in the opposite direction (-4.6) when factor C is at the low level. This is called a two-way interaction. The usual notation is C*D or just CD.

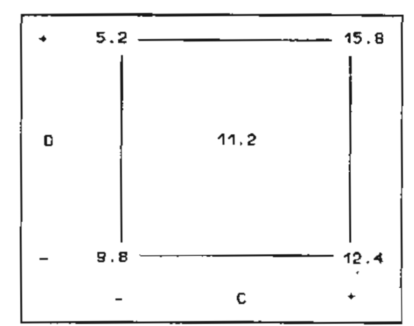


Figure 24
Interaction Example

The interaction effect is calculated by subtracting the effect of factor C at the low level of factor D from the effect of factor C at the high level of factor D and divided by two, which is (10.6 - 2.6)/2 = 4.0. Note that the same value is achieved using the effect of D at the two levels of C (3.4 - {-4.6})/2 = 4.0). Also note that the A*B interaction effect in the other example is only -0.1.

The calculated value for the effect of an interaction is used to determine whether the effect is significant, but it has little intuitive meaning. The best way to understand the effects is with an interaction plot (Figure 25), which is simply graphing the effect of one factor at each level of the other. A difference in slopes is characteristic of an interaction. Parallel or near parallel lines indicate that the factors are independent (no interaction).

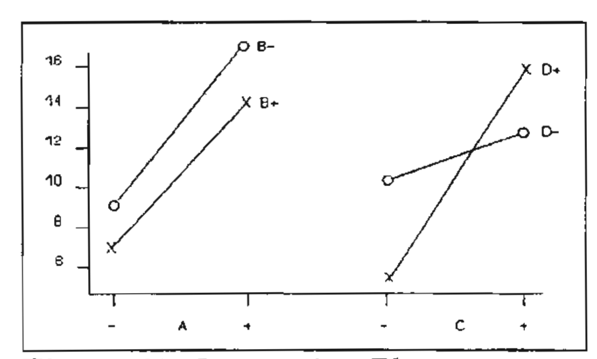


Figure 25 Interaction Plot

- Statistical Analysis

The results of any experiment are going to be affected by the natural variation in the process. Misleading conclusions can be made if this variation, called experimental error, is large relative to the magnitude of the effects. An experimenter who doesn't consider experimental error during the analysis can produce false conclusions and waste a lot of time explaining effects that may not really exist. A well-designed experiment reduces the influence of variation on the results. Statistical analysis of the experimental error determines whether there is enough evidence to conclude an effect does exist. Such an effect is called statistically significant.

There are several statistical tests that determine if an effect is significant. Each of these tests is based on the probability of observing, during the experiment, an effect of that magnitude or greater if the true value of the effect were zero. In other words, what is the probability of observing an effect of that size just by chance, completely due to experimental error? If that probability is low, then the "p-value" should be less than 0.05 (5%). If this is the case, it can also be said that there is 95% confidence that the effect is significant.

Because the ionic conductivity experiments were unbalanced the data was analyzed using a technique called multiple regression. The information of primary importance in the statistical analysis output is contained in the columns listing the "predictor", the coefficient ("coef"), and the p-value ("p"). The predictor column identifies the effect, where R, I, V, C and H are the main effects (coded using the first letter of each factor). The interactions are coded with a "*" between the letters. For example, R*I is the residue*IPA interaction.

The effects are derived from the coefficients calculated by this analysis, but their interpretation is consistent with that covered earlier in this text. The effect for all main effects and interactions is simply equal to twice the value of the coefficient. For the constant and center point ("CTR.PT"), the effect is equal to the coefficient. The "constant" is the mean response of all runs except the center points, adjusted for the unbalance in the design. This is the value that is expected to be observed at the center point, based on the other data. All of the other coefficients are the change in response relative to that constant when the factor is at high or low level. For main effects, the average response at the high level comes from adding level comes from subtracting. For two-way

interactions, add the coefficient when both factors are at their high level or low level. Subtract when one is at its high level and the other is at its low level. (Again, the graphs are the easiest way to understand interactions.) For the center point, the coefficient is the difference from where it was expected to be to where it actually was. The constant plus this coefficient is the observed average at the center.

For all of these, statistical significance is determined by a p-value less than 0.05. However, in some cases a p-value between 0.05 and 0.10 was worth noting as marginally significant.

Comments on the Ionic Conductivity Tests and Results

The experiments run on the ionic conductivity test equipment were two level full factorial and fractional factorial designs with center points. These experiments are often called "screening" designs because they are good for capturing the larger (significant) effects like a screen mesh separating gravel from sand and dirt. Their purpose is to identify the factors that the experimenter should focus on in order to better understand or control the process. They are rarely the final step, but they often help light the path that the experimenter wants to follow. It is not unusual to leave an experiment such as this having discovered many new questions.

The analysis of each of these experiments includes a table of effects, graphical representation of the main effects and interactions, and a statistical analysis. The graphs are very useful for understanding the effects, but the reader should focus only on the significant effects and on the general trends seen consistently across different systems. Trying to draw conclusions from insignificant effects or small differences between systems is not wise. (Don't look past the gravel on the screen and try to make conclusions about the dirt!)

REFERENCES

1. Nemec, E. & Brous, J., I.P.C. Technical Paper - TP-910, IPC Lincolnwood IL (1990).

2. Brous, J., "Methods for Measurement of Ionic Surface Contamination", in Treatise on Clean Surface Technology, Vol. 1, K.L. Mittal, Ed. 1987 Plenum Press, New York, pp. 71-101.

3. DeNoon, R., and W. Hobson. 1972. "Printed Wiring Assemblies: Detection of Ionic Contaminants on." Report No. 3-72, Naval Avionics Facility, Indianapolis, IN.

4. DeNoon, R., and W. Hobson. 1978. Report No. 3-78, Naval Avionics Center, Indianapolis, IN.

5. Andell, J. L. 1990. "Effect of Solution Temperatures on Ionic Contamination Measurements." Motorola Incorporated, Chandler, AZ.

6. Kenyon, W. G. 1977. "Fundamentals of Printed Wiring Assembly Ionic Contamination Determination by Solvent Extract Methods." Report No. IPC-TP-177, Institute for Interconnecting and Packaging of Electronic Circuits (IPC), Lincolnwood, IL.

7. Egan, T.F., "Determination of Plating Salt Residues" Plating, 50 (4), 350-354 (1973).

8. Brous. ibid., page 4.

IPC-TR-583



ANSI/IPC-T-50 Terms and Definitions for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits Definition Submission/Approval Sheet

The purpose of this form is to keep current with terms routinely used in the industry and their definitions. Individuals or companies are invited to comment. Please complete this form and return to:

IPC
3000 Lakeside Drive, Suite 309S
Bannockburn, IL 60015-1249
Fax: 847 615.7105

SUBMITTOR INFORMATION:

Name: ______________________

Company: ______________________

City: ______________________

State/Zip: ______________________

Telephone: ______________________

Date: ______________________

❑ This is a **NEW** term and definition being submitted.
❑ This is an **ADDITION** to an existing term and definition(s).
❑ This is a **CHANGE** to an existing definition.

Term	Definition

If space not adequate, use reverse side or attach additional sheet(s).

Artwork: ❑ Not Applicable ❑ Required ❑ To be supplied
❑ Included: Electronic File Name: ______________________

Document(s) to which this term applies: ______________________

Committees affected by this term: ______________________

Office Use

IPC Office	**Committee 2-30**
Date Received: __________	Date of Initial Review: __________
Comments Collated: __________	Comment Resolution: __________
Returned for Action: __________	Committee Action: ❑ Accepted ❑ Rejected
Revision Inclusion: __________	❑ Accept Modify

IEC Classification

Classification Code • Serial Number

Terms and Definition Committee Final Approval Authorization:

Committee 2-30 has approved the above term for release in the next revision.

Name: ______________ Committee: IPC 2-30 Date: ______________

IPC-TR-583

This Page Intentionally Left Blank

IPC-TR-583

Technical Questions

The IPC staff will research your technical question and attempt to find an appropriate specification interpretation or technical response. Please send your technical query to the technical department via:

tel: 847-615-7100 fax: 847-615-7105
www.ipc.org e-mail: answers@ipc.org

IPC World Wide Web Page www.ipc.org

Our home page provides access to information about upcoming events, publications and videos, membership, and industry activities and services. Visit soon and often.

IPC Technical Forums

IPC technical forums are opportunities to network on the Internet. It's the best way to get the help you need today! Over 2,500 people are already taking advantage of the excellent peer networking available through e-mail forums provided by IPC. Members use them to get timely, relevant answers to their technical questions. Contact KeachSasamori@ipc.org for details. Here are a few of the forums offered.

TechNet@ipc.org

TechNet forum is for discussion of issues related to printed circuit board design, assembly, manufacturing, comments or questions on IPC specifications, or other technical inquiries. IPC also uses TechNet to announce meetings, important technical issues, surveys, etc.

ComplianceNet@ipc.org

ComplianceNet forum covers environmental, safety and related regulations or issues.

DesignersCouncil@ipc.org

Designers Council forum covers information on upcoming IPC Designers Council activities as well as information, comments, and feedback on current designer issues, local chapter meetings, new chapters forming, job opportunities and certification. In addition, IPC can set up a mailing list for your individual Chapter so that your chapter can share information about upcoming meetings, events and issues related specifically to your chapter.

Trainingnews@ipc.org

This is an announcement forum where subscribers can receive notice of new IPC Training Products.

leadfree.ipc.org

This forum acts as a peer interaction resource for staying on top of lead elimination activities worldwide and within IPC.

IPC_New_Releases@ipc.org

This is an announcement forum where subscribers can receive notice of new IPC publications, updates and standards.

ADMINISTERING YOUR SUBSCRIPTION STATUS:

All commands (such as subscribe and signoff) must be sent to listserv@ipc.org. Please DO NOT send any command to the mail list address, (i.e.<mail list> @ipc.org), as it would be distributed to all the subscribers.

Example for subscribing:
To: LISTSERV@IPC.ORG
Subject:
Message: subscribe TechNet Joseph H. Smith

Example for signing off:
To: LISTSERV@IPC.ORG
Subject:
Message: signoff DesignerCouncil

Please note you must send messages to the mail list address ONLY from the e-mail address to which you want to apply changes. In other words, if you want to sign off the mail list, you must send the signoff command from the address that you want removed from the mail list. Many participants find it helpful to signoff a list when travelling or on vacation and to resubscribe when back in the office.

How to post to a forum:

To send a message to all the people currently subscribed to the list, just send to <mail list>@ipc.org. Please note, use the mail list address that you want to reach in place of the <mail list> string in the above instructions.

Example:
To: TechNet@IPC.ORG
Subject: <your subject>
Message: <your message>

The associated e-mail message text will be distributed to everyone on the list, including the sender. Further information on how to access previous messages sent to the forums will be provided upon subscribing.

For more information, contact Keach Sasamori
tel: 847-597-2815 fax: 847-615-5615
e-mail: sasako@ipc.org www.ipc.org/emailforums



BENEFITS OF IPC MEMBERSHIP

Education and Training

IPC conducts local educational workshops and national conferences to help you better understand conventional and emerging technologies. Members receive discounts on registration fees. Visit www.ipc.org to see what programs are coming to your area.

IPC Certification Programs

IPC provides world-class training and certification programs based on several widely-used IPC standards, including IPC-A-600, IPC-A-610, IPC/WHMA-A-620, J-STD-001 and IPC-7711A/7721A Rework and Repair. IPC-sponsored certification gives your company a competitive advantage and your workforce valuable recognition.

For more information on these programs:

tel: 847-597-2814 fax: 847-615-7105
e-mail: certification@ipc.org www.ipc.org/certification

Designer Certification (C.I.D.)/Advanced Designer Certification (C.I.D.+)

Contact:

tel: 847-597-2827 fax: 847-615-5627
e-mail: christipoulsen@ipc.org http://dc.ipc.org

EMS Program Manager Certification

Contact:

tel: 847-597-2884 fax: 847-615-5684
e-mail: susanfilz@ipc.org www.ipc.org/certification

IPC Video Tapes and CD-ROMs

IPC video tapes and CD-ROMs can increase your industry know-how and on the job effectiveness. Members receive discounts on purchases.

For more information on IPC Video/CD Training, contact Mark Pritchard

tel: 505/758-7937 ext. 202 fax: 505/758-7938
e-mail: markp@ipcvideo.org http://training.ipc.org

IPC Printed Circuits Expo, APEX and the Designers Summit



This yearly event is the largest electronics interconnection event in North America. With technical paper presentations, educational courses, standards development meetings networking opportunities and designers certification, there's something for everyone in the industry. The premier technical conference draws experts from around the globe. 500 exhibitors and 6,000 attendees typically participate each year. You'll see the latest in technologies, products and services and hear about the trends that affect us all. Go to www.GoIPCShows.org or contact shows@ipc.org for more information.

Exhibitor information:

Mary Mac Kinnon	Alicia Balonek
Director, Show Sales	Director, Trade Show Operations
847-597-2886	847-597-2898
MaryMacKinnon@ip c.org	AliciaBalonek@ipc.org

How to Get Involved

The first step is to join IPC. An application for membership can be found in the back of this publication. Once you become a member, the opportunities to enhance your competitiveness are vast. Join a technical committee and learn from our industry's best while you help develop the standards for our industry. Participate in market research programs which forecast the future of our industry. Participate in Capitol Hill Day and lobby your Congressmen and Senators for better industry support. Pick from a wide variety of educational opportunities: workshops, tutorials, and conferences. More up-to-date details on IPC opportunities can be found on our web page: www.ipc.org.

For information on how to get involved, contact:

Jeanette Ferdman, Membership Director

tel: 847-597-2809 fax: 847-597-7105
e-mail: JeanetteFerdman@ipc.org www.ipc.org